

**Réalisation et validation
d'un serveur de temps strate 1
en mode autonome**

Pierre Le Cam [1]
Société Astronomique de France

Ecole de Photométrie 2022
Besançon

Réalisation du serveur : partie matérielle



Carte Raspberry Pi



Carte micro SD 8 à 16 Go



Alimentation 5V 2A



Carte extension GPS



Antenne GSP

- La carte d'extension GPS Uputronics [2] est disponible chez Kubii [3].
- Un boîtier pour contenir la carte Raspberry et la carte GPS [4].
- L'alimentation est un pack batterie rechargeable donc utilisable en pleine nature hors 220V.
- Un câble RJ45 croisé pour relier directement le Raspberry Pi à l'ordinateur d'acquisition sous Windows
- Un clavier, une souris et un écran HDMI.

Réalisation du serveur : partie logicielle

L'OS du Raspberry Pi

Le téléchargement et l'installation de l'OS sur la carte SD se fait avec Raspberry Pi Imager [5].

Le serveur ntp

L'installation du serveur NTP proprement dit est décrite sur le site Uputronics [6].
La modification en mode « Stand Alone » du serveur est décrite en Annexe A.

Le mode autonome ou « Stand Alone »

Le NTP nécessite une connexion internet pour fonctionner en allant chercher une référence de temps sur un serveur dédié sur Internet. A partir de cette référence le NTP local corrige les variations de l'horloge système du Raspberry.

Le mode « Stand Alone » permet de faire fonctionner le serveur hors connexion internet .
Ce mode est particulièrement utile pour une station d'observation mobile.

Le serveur de temps utilisé pour pour cette étude a été réalisé en 2016 sur une base de Raspberry Pi 2 et de l'OS Raspian Jessie, en suivant les instructions décrites à l'époque sur le site HAB (devenu Uputronics depuis).

Le SEXTA

Partie matérielle

Le SEXTA permet la vérification de l'horodatage des images d'une vidéo.

C'est l'**appareil de référence** utilisé actuellement pour cette fin.

Le SEXTA a été décrit par Dave Gault et Tony Barry lors de l'ESPO 2019 à Paris [7].

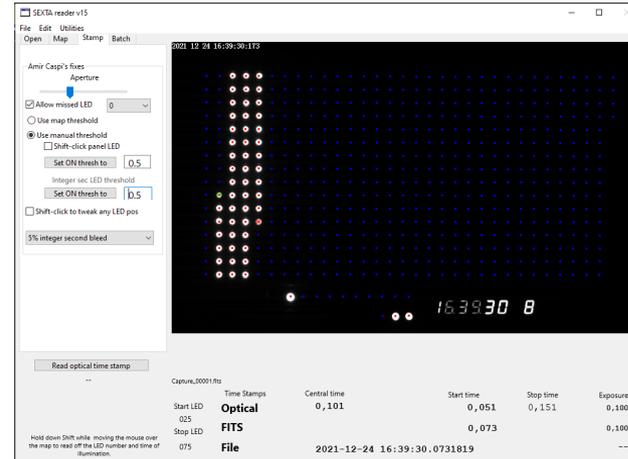
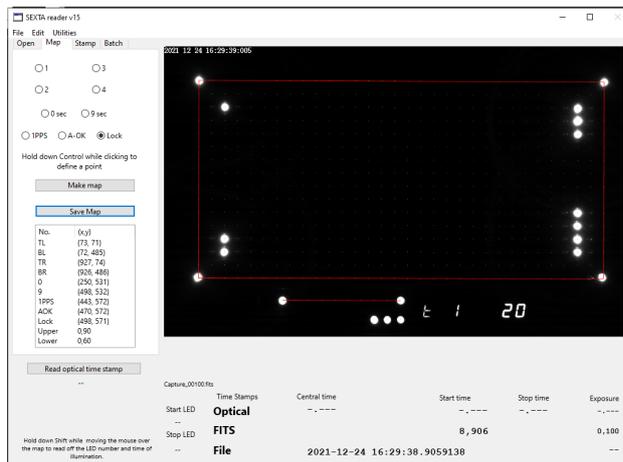
Partie logicielle

Les images vidéo enregistrées sont lues par le logiciel **SEXTAreader**.

La première étape nécessite d'obtenir une image de calibration permettant de repérer la position des LED (« Map »).

Lors de la deuxième étape le décodage permet d'obtenir les **horodatages de début et de fin** d'exposition des images.

Ces horodatages peuvent alors être comparés à l'horodatage réalisé par le logiciel d'acquisition vidéo.



Enregistrement des vidéos : matériel utilisé

- Un ordinateur portable Asus N750J
processeur i7 à 2.4 GHz, RAM 16 Go, disque SSD, Windows 10 Famille.
l'ordinateur passe le test de l'« invariant TSC » avec OccuCheckTime de H. Pavlov [8].
- Un câble RJ45 croisé
- Le serveur de temps décrit précédemment.
Le serveur est relié directement à l'ordinateur via le câble RJ45 croisé et régule l'horloge système Windows de l'ordinateur.
- Un câble USB3 pour relier l'ordinateur à la caméra

Deux caméras ont été testées :

- ZWO ASI 174MM
- QHY174M-GPS

Enregistrement des vidéos : logiciels utilisés

- **Sharcap**
version 4.0.8395.0 pour tous les enregistrements vidéos [9].
- **SEXTAreader**
version 1.7 pour l'exploitation des vidéos.
Cette dernière version corrige certains problèmes rencontrés avec les versions antérieures 1.5 et 1.6 [10].
- **NTP Meinberg**
Meinberg met gratuitement à disposition un « full NTP » sous Windows sous forme d'un pack exécutable simple à installer [11].
La fiabilité de ce logiciel a été testée par H. Pavlov et D. Gault [12].
- **NTP Server Monitor**
Le logiciel NTP Time Server Monitor de Meinberg permet de configurer le NTP sous Windows et de suivre son fonctionnement [13].
- **NTP Plotter**
Ce logiciel permet d'obtenir des graphes de suivi du fonctionnement du NTP sur une journée entière à partir du fichier loopstats [14].

Remarque :

Des compléments sur le ntp peuvent être trouvés sur le site de David Taylor [15].

Protocole de mesure

- L'ensemble du matériel est mis sous tension **30 min à 1 h** avant toute utilisation
permet au GPS d'obtenir son FIX 3D et au serveur de temps de réguler l'horloge système Windows.
- Avec le logiciel Meinberg NTP Monitor vérification que l'offset est inférieur à 1 milliseconde.
- Enregistrement d'une première vidéo en format FITS pour réaliser la « Map ».
- Enregistrement ensuite d'une série de quatre vidéo de 600 images en format FITS pour chaque jeu de paramètres sélectionnés.
- Les vidéos sont traitées avec SEXTAreader.

Résultats caméra ZWO ASI 174MM

Exemple 1

Fenêtrage = 1936x1216, binning = 2, exposition = 100 ms, Turbo USB = 80, gain = 10 ; moyenne des valeurs sur la dernière ligne.

DO(n)-SS(n)	3 σ	SE(n)-SS(n)	3 σ	SS(n+1)-SS(n)	3 σ	SE(n+1)-SE(n)	3 σ	DO(n+1)-DO(n)	3 σ
22,003	1,853	99,947	0,967	100,097	1,727	100,097	1,727	100,096	0,510
22,017	1,842	99,933	1,078	100,097	1,620	100,097	1,582	100,095	0,635
22,047	1,836	99,957	0,873	100,097	1,617	100,097	1,617	100,095	0,544
22,037	1,808	99,947	0,967	100,097	1,543	100,097	1,619	100,096	0,598
22,026	1,835	99,946	0,971	100,097	1,627	100,097	1,636	100,095	0,572

DO : SharpCap DATE-OBS/ System Clock:Est. Frame Start (entête du fichier Fits)
SS : SEXTA Start Time
SE : SEXTA End Time

SE(n)-SS(n) : correspond à la durée d'exposition SEXTA
SS(n+1)-SS(n) : régularité de SEXTA Start
SE(n+1)-SE(n) : régularité de SEXTA End
DO(n+1)-DO(n) : régularité de l'horodatage de SharpCap

DO(n)-SS(n) : écart temporel entre l'horodatage de début de frame de SharpCap et de celui mesuré par le SEXTA.

DO(n)-SS(n) : Délai acquisition définit par D.Gault et H. Pavlov [12]

Résultats caméra ZWO ASI 174MM

Exemple 1

Fenêtrage = 1936x1216, binning = 2, exposition = 100 ms, Turbo USB = 80, gain = 10 ; moyenne des valeurs sur la dernière ligne.

DO(n)-SS(n)	3 σ	SE(n)-SS(n)	3 σ	SS(n+1)-SS(n)	3 σ	SE(n+1)-SE(n)	3 σ	DO(n+1)-DO(n)	3 σ
22,003	1,853	99,947	0,967	100,097	1,727	100,097	1,727	100,096	0,510
22,017	1,842	99,933	1,078	100,097	1,620	100,097	1,582	100,095	0,635
22,047	1,836	99,957	0,873	100,097	1,617	100,097	1,617	100,095	0,544
22,037	1,808	99,947	0,967	100,097	1,543	100,097	1,619	100,096	0,598
22,026	1,835	99,946	0,971	100,097	1,627	100,097	1,636	100,095	0,572

Bilan

Le jeu de paramètres correspond à celui utilisé pour des occultations.

Le **délai d'acquisition** peut être considéré comme **constant** et égal à **22,0 ms**.

Les mesures sont à 99.7 % dans l'intervalle ± 1.9 ms.

Résultats caméra ZWO ASI 174MM

Exemple 2

Fenêtrage = 968x608, binning = 1, exposition = 100 ms, Turbo USB = 80, gain = 10 ; moyenne des valeurs en ms sur la dernière ligne.

DO(n)-SS(n)	3 σ	SE(n)-SS(n)	3 σ	SS(n+1)-SS(n)	3 σ	SE(n+1)-SE(n)	3 σ	DO(n+1)-DO(n)	3 σ
5,596	1,777	99,947	0,968	100,057	1,563	100,057	1,524	100,058	0,201
5,605	1,782	99,947	0,966	100,060	1,499	100,060	1,499	100,057	0,223
5,600	1,757	99,944	0,995	100,057	1,520	100,057	1,520	100,057	0,196
5,582	1,808	99,947	0,967	100,060	1,616	100,057	1,440	100,057	0,219
5,578	1,767	99,947	0,966	100,057	1,480	100,057	1,480	100,057	0,206
5,592	1,778	99,946	0,972	100,058	1,536	100,057	1,493	100,058	0,209

Bilan

Le jeu de paramètres correspond à celui utilisé pour des occultations.

Le **délai d'acquisition** peut être considéré comme **constant** et égal à **5,6 ms**.

Les mesures sont à 99.7 % dans l'intervalle $\pm 1,8$ ms.

Résumé résultats caméra ZWO ASI 174MM

Influence sur le délai d'acquisition

Paramètre	Influence	$\pm 3 \sigma$
Exposition	NON	2,0
Gain	NON	1,9
Fenêtrage	OUI	1,8
Binning	OUI	1,9
Turbo USB	OUI	2,0
Longueur cable USB	NON	1,9

Bilan

Pour un **même jeu** de paramètres, le **délai d'acquisition** peut être considéré comme **constant**.

Les résultats des mesures sont à **99.7 %** dans l'intervalle ± 2 ms.

Caméra QHY174-GPS

Vérification de la calibration de la caméra

					Calibration Start		Calibration End	
ROI	Bin.	Expo.	USB Traf.	Gain	DO(n)-SS(n)	3 σ	DO2(n)-SE(n)	3 σ
960x600	1x1	40	0	30	0,137	1,81	-0,049	1,84
960x600	1x1	100	0	5	0,109	1,80	-0,018	1,78
960x600	1x1	400	0	0	0,176	1,86	-0,098	1,87
1920x1200	2x2	40	0	50	0,088	1,83	0,013	1,79
1920x1200	2x2	40	0	180	0,067	1,83	0,026	1,80
1920x1200	2x2	100	0	30	0,104	1,81	-0,002	1,80
1920x1200	2x2	100	0	110	0,118	1,80	-0,001	1,79
1920x1200	2x2	400	0	0	0,132	1,83	-0,050	1,79
			moyenne		0,116	1,82	-0,022	1,81

DO SharpCap DATE-OBS GPS : **Start Exposure**

DO2 SharpCap DATE-OB2 GPS : **End Exposure**

Pour obtenir un **horodatage exact** la caméra nécessite au préalable une **calibration** (voir Annexe B).

Bilan :

Les différences DO - SS et DO2 - SE sont pratiquement nulles à la précision de ± 2 ms du SEXTA.

Les horodatages de début et de fin d'image par l'horloge de la caméra sont identiques à ceux du SEXTA.

Avec les valeurs par défaut proposées par SharpCap la caméra est correctement calibrée.

Caméra QHY174-GPS

La question :

Cette caméra peut-elle être utilisée pour valider un serveur de temps à la place du SEXTA ?

ROI	Bin	Expo	USB Traf.	Gain	DE(n)-DO2(n)	3 σ
1920x1200	2x2	40	0	50	22,680	2,04
1920x1200	2x2	40	0	180	22,288	1,92
1920x1200	2x2	100	0	30	22,507	1,85
1920x1200	2x2	100	0	110	22,433	1,79
1920x1200	2x2	400	0	0	22,380	1,87
			moyenne		22,458	1,89

DE SharpCap DATE-END System Clock : Frame Received
DO2 SharpCap DATE-OB2 GPS : End Exposure

Bilan

DE - DO2 = Délai acquisition de la caméra QHY174-GPS.

Pour un jeu de paramètres donnés ce délai peut être considéré comme **constant**.

Les valeurs obtenues sont à **99,7 %** dans l'intervalle $\pm 1,9$ ms.

La caméra peut être utilisée pour valider un serveur de temps avec une précision équivalente au SEXTA.

Conclusions

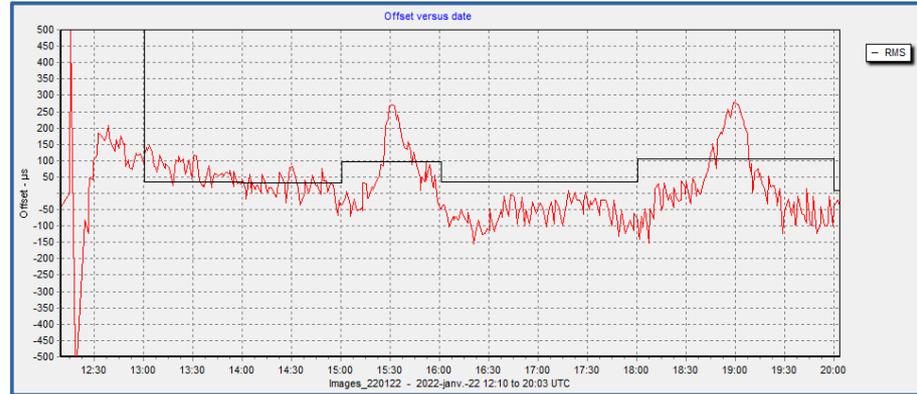
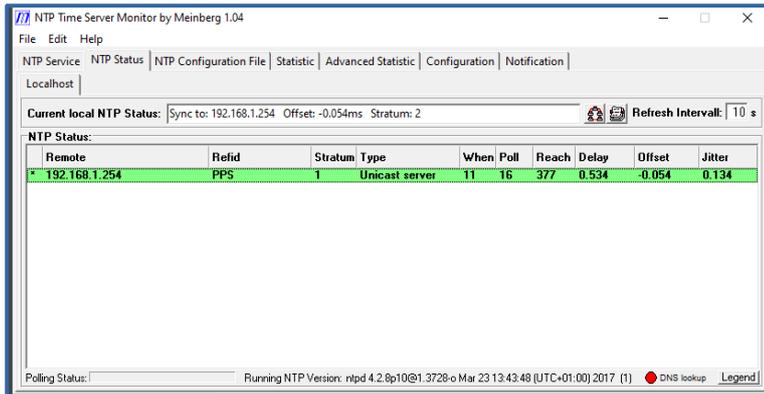
Les résultats obtenus montrent que **pour un même jeu de paramètres** d'enregistrement dans SharpCap :

- **le délai d'acquisition est constant**
- les valeurs sont à **99,7 % dans un intervalle de ± 2 ms.**

Ce dernier résultat montre qu'un serveur de temps construit sur une base de Raspberry Pi en mode autonome peut être utilisé pour un horodatage précis d'images astronomiques, en particulier d'occultations.

Ce serveur n'étant pas connecté à Internet n'en subit pas les aléas (délai avec le serveur distant par exemple).

Les mesures ont été réalisées à des moments aléatoires sur une période de plus de trois mois. Elles montrent donc une validité statistique de la fiabilité du serveur.



Remerciements à

Thierry Midavaine et au Club Eclipse pour le prêt du SEXTA et pour son aide.

Annexe A

Serveur en mode autonome « Stand Alone »

Depuis la réalisation du serveur, Anthony Stirk a supprimé les instructions concernant la fonctionnalité « Stand Alone » [6].

*« I've also removed the off grid/standalone instructions as NTP isn't designed to work off grid using just the NMEA derived time and PPS to discipline it.»
Updated : 25/05/16 Fixed for Pi3/May Raspbian. Removed Standalone mode (NTP isn't designed for this)*

Même si le « NTP isn't designed for this », par expérience ce mode fonctionne parfaitement.

Pour mettre le serveur en mode « Stand Alone » il faut éditer le fichier ntp.conf du serveur sur le Raspberry Pi avec la commande suivante :

```
sudo /etc/ntp.conf
```

Ajouter ou modifier les lignes :

```
# Kernel-mode PPS reference-clock for the precise seconds  
server 127.127.22.0 minpoll 4 maxpoll 4  
fudge 127.127.22.0 flag3 1 refid PPS  
tos mindist 0.2
```

```
# Coarse time reference-clock - nearest second  
server 127.127.28.0 minpoll 4 maxpoll 4 prefer  
fudge 127.127.28.0 time1 +0.225 flag1 1 refid GPS
```

Sauvegarder et fermer le fichier.

Relancer le serveur.

Remarque : la valeur +0.225 du paramètre time1 de la dernière ligne devra peut être à ajuster.

Des versions plus récentes de NTP peuvent être utilisées. Par exemple Chrony ou NTPsec.

Jean-Baptiste Marquette à réalisé une version de serveur de temps avec **Chrony** qui fonctionne parfaitement [16].

Annexe B

Calibration de la caméra QHY174-GPS

Le protocole est décrit par QHY :

<https://note.youdao.com/ynotesshare1/index.html?id=6e818b2c91ac61f1650fa9319f981074&type=note>

Cette calibration s'effectue dans SharpCap grâce à deux paramètres :

- Calibration End Pos Adjust
- Calibration Start Pos Adjust

Les valeurs de ces paramètres de calibration dépendent de différents facteurs (durée d'exposition, USB Traffic, 8/16 bits, ROI).

Robin Glover l'auteur de SharpCap a fait une modélisation de ces facteurs.

Tout changement dans les paramètres d'enregistrement corrige automatiquement les valeurs de Calibration End Pos et Calibration Start Pos.

L'objectif des mesures était donc de vérifier cette modélisation.

Bibliographie

[1] Contact : plc (at) nocturno.fr Site Web : <http://www.nocturno.fr/>

[2] Carte GPS Uputronics : https://store.uputronics.com/index.php?route=product/product&path=64&product_id=123

[3] Carte GPS chez Kubii :
https://www.kubii.fr/hat-cartes-d-extensions/3351-carte-d-extension-gps-rtc-pour-raspberry-pi-3272496306745.html?search_query=GPS&results=11

[4] Uputronics propose un boîtier compatible : https://store.uputronics.com/index.php?route=product/product&product_id=90

[5] Pi Imager : <https://raspberry-pi.fr/creer-carte-sd-windows-mac-linux-raspberry-pi-imager/>

[6] 5 minute guide to making a GPS Locked Stratum 1 NTP Server with a Raspberry Pi : <https://ava.upuaut.net/?p=951>

[7] Le SEXTA : <https://lesia.obspm.fr/lucky-star/esop38/doc/L6-D.Gault-T.Barry.pdf>

[8] OccuTimeCheck : <http://www.hristopavlov.net/OccuTimeCheck.zip>

[9] SharpCap : <https://www.sharpcap.co.uk/sharpcap/downloads>

[10] SEXTAreader : https://www.tonybarry.net/TB_-_Homepage/SEXTA.html

[11] NTP Meinberg : <https://www.meinbergglobal.com/english/sw/ntp.htm>
Exécutable ntp-4.2.8p15-v2-win32-setup.exe (4.29 MB) au moment de la rédaction.

[12] Pavlov, H., Gault, D. Using the Windows Clock with Network Time Protocol (NTP) for Occultation Timing. Journal for Occultation Astronomy, Volume 10 · No. 2· 2020-2.

[13] Meinberg NTP Server Monitor : <https://www.meinbergglobal.com/english/sw/ntp-server-monitor.htm>

[14] NTPlotter : <https://www.satsignal.eu/software/net.htm>

[15] Site de David Taylor : <http://www.satsignal.eu/ntp/Raspberry-Pi-NTP.html>

[16] https://journees.sf2a.eu/wp-content/uploads/besancon_2022/e-posters/s05/Archive.zip
Dans le fichier archive : S05_11_poster_NTPstrate1_MarquetteLeCam.pdf