

# Mesure du délai d'acquisition d'une caméra numérique

## sans SEXTA

Pierre Le Cam [1]  
Société Astronomique de France

Ecole de Photométrie 2022  
Besançon

Le délai d'acquisition a été défini par D. Gault et H. Pavlov dans un article du Journal for Occultation Astronomy [2]

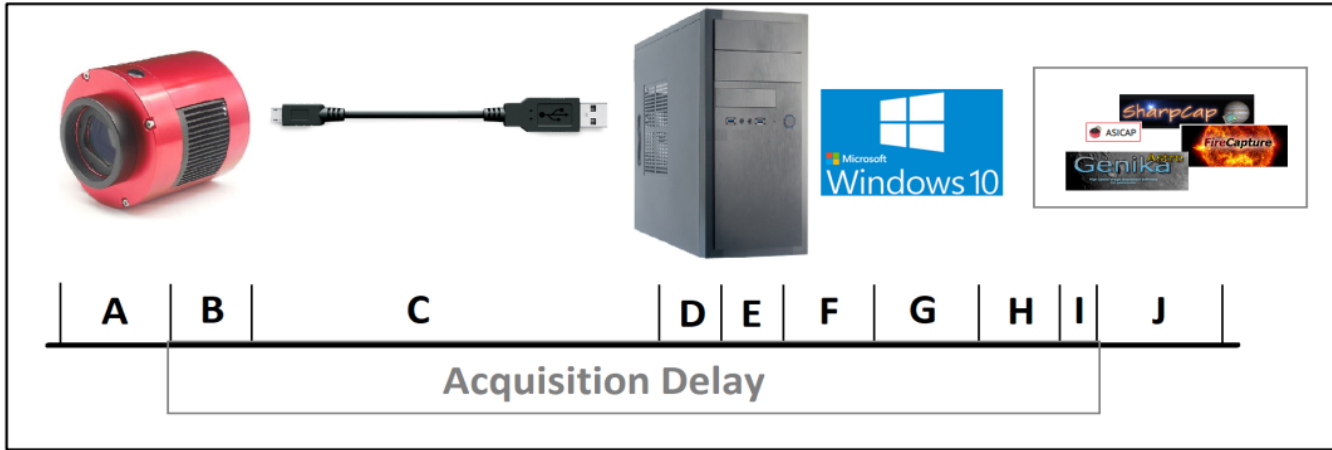


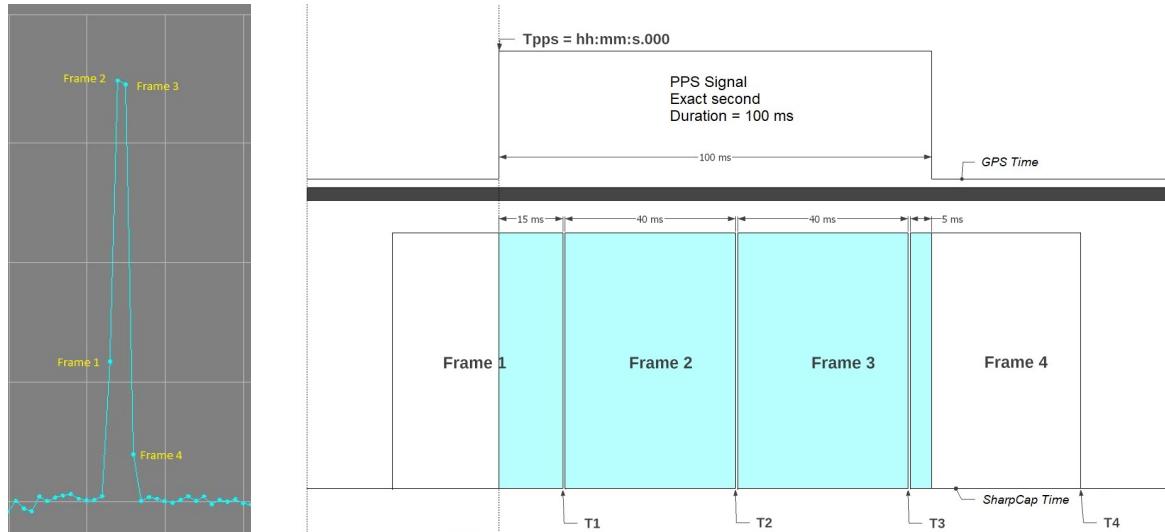
Figure 1. Time delays in a video acquisition system using a PC. The size of the named segments does not correspond to the actual size of the experienced delay in the corresponding named segment.

Le délai d'acquisition correspond à la différence de temps entre

- la date de la fin d'exposition d'une image
- et
- la date où cette image est horodatée par le logiciel d'acquisition vidéo

# Principe

Le signal PPS d'un module GPS est utilisé pour alimenter une LED.  
Le flux lumineux est enregistré avec une caméra numérique et analysé avec Tangra.



T1, T2, T3 et T4 sont les horodatages fin de frame réalisés par le logiciel vidéo.

La surface en bleu correspond aux flux mesurés par Tangra pour chacune des frames.

Le signal 1PPS d'une durée de 100 ms apparaît vers la fin de frame 1 et dure 15 ms.

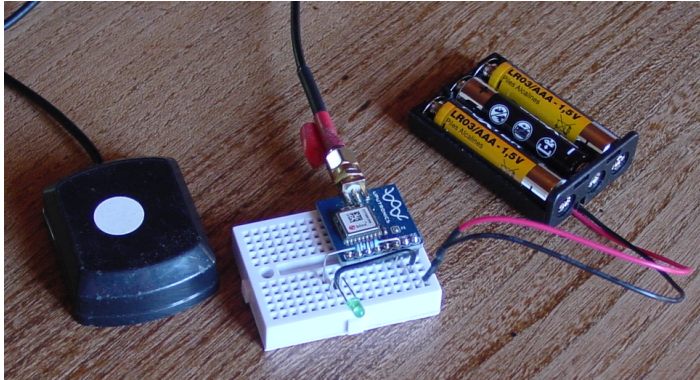
L'intensité lumineuse de la LED étant constante, le flux est proportionnel à la durée de présence du signal 1PPS dans les quatre frames.

$$\begin{aligned} \text{Flux Total} &= \text{Flux1} + \text{Flux 2} + \text{Flux 3} + \text{Flux 4} \\ \text{Flux Unitaire} &= \text{Flux Total} / 100 \text{ ms} \\ \text{DuréePPS1} &= \text{Flux1} / \text{Flux Unitaire} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{fin}} &= T_{\text{pps}} + \text{DuréePPS1} \\ T1 &= \text{Horodatage fin d'exposition de la Frame1} \\ &\text{déterminé par le logiciel d'acquisition.} \end{aligned}$$

$$\text{Delai Acquisition} = T1 - T_{\text{fin}}$$

## Le matériel utilisé



- un module GPS avec signal PPS  
Uputronics Module uBLOX MAX-M8Q Breakout [3] [4]
- une antenne GPS
- une LED de diamètre 3 mm
- une résistance de protection de valeur 4.7 k $\Omega$  à 22 k $\Omega$
- deux ou trois piles 4,5 V suivant la tension du module GPS

Réaliser le montage de l'image.

Le pôle Plus de la LED est relié à la connexion TP du module GPS, le pôle Moins au GRND.

- caméras numériques testées :
  - ZWO ASI 174 à Global Shutter
  - QHY 224C à Rolling Shutter
- un serveur de temps NTP strate 1 autonome  
réalisé à partir d'un Raspberry Pi [5]
- ordinateur Asus N750J : i7+SSD, Windows 10
- un câble RJ45 croisé

# Les logiciels utilisés

- logiciel **NTP de Meinberg** pour synchroniser l'horloge système Windows [6].
- le logiciel **Meinberg NTP Monitor** pour suivre la régulation NTP de l'horloge [7]
- **SharpCap** version 4.0.8395.0 pour l'enregistrement des vidéos [8].
- **Tangra** version 3.7.0.3 pour la réduction des fichiers vidéos [9].
- un **tableur** pour exploiter les fichiers .csv [10]

# Vérification de la durée du signal 1PPS

Une première façon est d'utiliser un oscilloscope.

Une deuxième c'est faire enregistrement vidéo.

Avec un fenêtrage aussi petit que possible, enregistrer une vidéo de la LED

ex. : temps d'exposition de 2 ms et d'une durée de 30 s à 1 min.

Faire une réduction des images vidéo avec Tangra.

Dans le fichier .csv compter le nombre d'images dans lesquelles le signal 1PPS est présent.

En déduire la durée du signal PPS.

Vérifier la régularité de l'horodatage des images concernées.

**Le module GPS Uputronics utilisé à une durée du signal 1PPS de 100 ms.**

Il est possible d'allonger la durée du signal PPS, voir Annexe A.

# Enregistrements vidéo

**Compte-tenu du principe utilisé, le signal PPS doit être réparti sur au moins deux images.**

La durée d'exposition doit donc être au plus égale à 50 ms.

## Protocole

Réalisation de 3 vidéos avec SharpCap.

### Paramètres

Coulour Space = Mono16 ou Raw16  
Ouput Format = FITS files  
Debayer = Off  
Frame Rate Limit = Maximum  
Exposure = entre 25 et 50 ms  
Durée enregistrement = environ 2000 images.

Effectuer la réduction des vidéos avec Tangra.

### Paramètres utilisés :

DATE-END  
Flip Vertical pour redresser complètement l'image  
Untracked

Sauvegarder la courbe de lumière en format .lc et en fichier .csv.

Exploiter les fichiers vidéos avec un tableur.

# Exemple de calculs

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	<b>Délai acquisition d'une caméra numérique</b>										
2	Feuille Calculs										
3								Durée Exposition	40		
4	<b>FrameNo</b>	<b>Time (UT)</b>	<b>Signal (1)</b>	<b>BackGround (1)</b>	<b>SmB (1)</b>	<b>PPS</b>		Durée PPS	100		
5	24	[23:49:17.909]	2 956	3 070	-114			Durée PPS	100		
6	25	[23:49:17.948]	2 914	2 877	37			Flux Total	99 337		
7	26	[23:49:17.989]	2 938	2 971	-33			Flux 1	26 720		
8	27	[23:49:18.029]	29 714	2 994	<b>26 720</b>	PPS1		Flux Unitaire (par ms)	993		
9	28	[23:49:18.069]	43 203	3 092	<b>40 111</b>	PPS2		Durée PPS1	26,9	Flux 1 / Flux Unitaire	
10	29	[23:49:18.109]	35 560	3 054	<b>32 506</b>	PPS3		Time (UT) PPS1	[23:49:18.029]		
11	30	[23:49:18.149]	3 091	3 049	42			Time (UT) PPS1 HH	23	partie heure	
12	31	[23:49:18.189]	2 993	3 130	-137			Time (UT) PPS1 MM	49	partie minute	
13	32	[23:49:18.229]	3 077	2 936	141			Time (UT) PPS1 SS	18,029	partie seconde	
14											
15											
16		Time (UT) = horodatage milieu d'image par Tangra							Time (UT) PPS1 (en secondes)	85 758,029	Conversion en secondes de Time (UT) PPS1
17											
18								T_END (en secondes)	85 758,049	Time (UT) PPS1 + Exposition /2	
19											
20								T_PPS	85758,000	Partie entière T_END	
21											
22								T_fin PPS	85758,027	T_PPS + Durée PPS1	
23											
24											
25											
26								<b>Délai acquisition (ms)</b>	<b>22,1</b>	T_END - T_fin PPS	
27											

$SmB(1) = Signal(1) - BackGround(1)$

La présence du signal 1PPS se détecte par des valeurs de Smb(1) nettement supérieures au signal de base

Dans cet exemple le signal 1PPS apparait dans la frame 27 (PPS1), est présent dans les frames 28 et 29 (PPS2 et PPS3)



# Pour les calculs

La feuille de calcul précédente est disponible sur Internet [10]

Pour les résultats présentés dans la suite de l'exposé,  
les calculs ont été effectués à partir de DATE-END de SharpCap.

Pour chaque ligne de résultats, les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 vidéos

# Résultats avec une caméra Global Shutter ZWO ASI 174M

## Influence de la durée d'exposition

Exposition	Inter Frame (ms)	3 $\sigma$	Delai acquisition (ms)	3 $\sigma$
25	25,1	1,4	22,2	1,0
40	40,1	1,0	22,3	1,4

*Tableau 1 : Influence de la durée d'exposition*

*Fenêtrage = 1936x1216, Binning 2, Turbo USB = 80  
(les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 vidéos)*

### Bilan

**La durée d'exposition n'a pas d'influence sur le délai d'acquisition.**

**Les résultats sont à 99,7 % dans l'intervalle de  $\pm 1,5$  ms.**

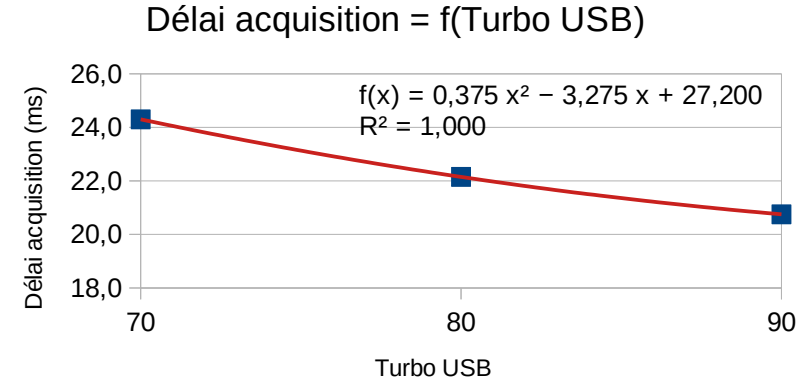
# Résultats avec une caméra Global Shutter ZWO ASI 174M

## Influence de la vitesse USB

Turbo USB	Inter Fr. (ms)	3 $\sigma$	Delai acq. (ms)	3 $\sigma$
70	25,1	1,50	<b>24,3</b>	1,00
80	25,1	1,40	<b>22,2</b>	0,95
90	25,1	1,65	<b>20,8</b>	0,90

Tableau 2 : influence de la vitesse USB

Fenêtrage = 1936x1216, binning = 2, Exposition = 25 ms, Gain = 40  
(les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 vidéos)



### Bilan

**La vitesse de transfert USB influence le délai d'acquisition.**

**Les résultats sont à 99,7 % dans l'intervalle de  $\pm 1$  ms.**

# Cas des caméras à Rolling Shutter

Dans une caméra à Global Shutter **tous les pixels** d'une image **ont le même horodatage**.

Dans le cas d'une caméra à Rolling Shutter les lignes du capteur sont lues successivement.

**Seuls les pixels d'une même ligne ont le même horodatage.**

La méthode décrite précédemment reste valide en **l'appliquant à une ligne de pixels**.

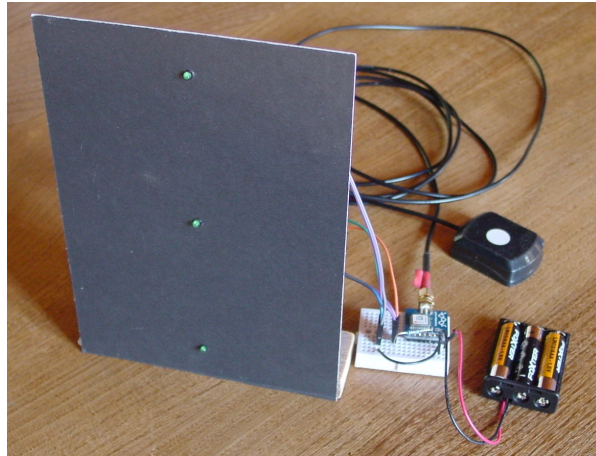


Figure 3 : Système 3 LED pour caméra Rolling Shutter

Pour ce type de caméra le dispositif à une LED a été modifié en utilisant **trois LED** alimentées en parallèle.

Pour l'enregistrement vidéo :

- les LED sont placées verticalement
- la LED du milieu a été placée au centre du capteur

Dans Tangra la sélection des trois LED a été effectuée dans le sens du haut vers le bas.

L'origine (0, 0) du système de coordonnées de Tangra est en haut et à gauche.

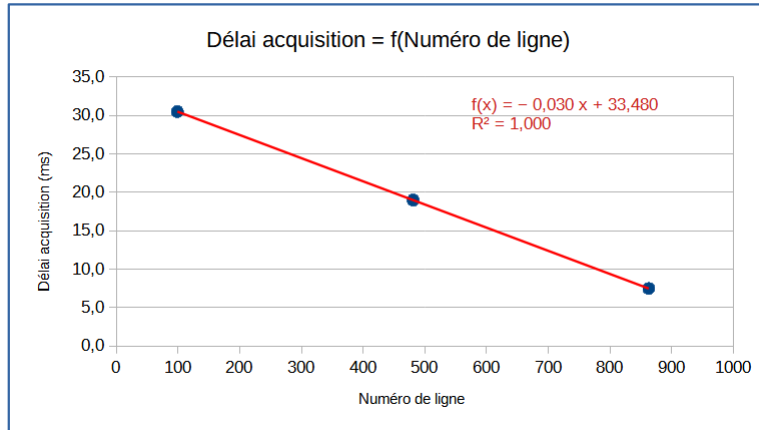
# Résultats avec une caméra Rolling Shutter QHY224C

## Influence de la durée d'exposition

Exposition (ms)	Inter F. (ms)	3 $\sigma$	LED1 Y	Delai_1 (ms)	3 $\sigma$ _1	LED2 Y	Delai_2 (ms)	3 $\sigma$ _2	LED3 Y	Delai_3 (ms)	3 $\sigma$ _3
30	30,0	1,8	99	30,6	2,04	481	19,1	1,89	863	7,53	1,84
40	40,0	2,1	99	30,6	2,24	481	19,0	2,11	863	7,49	2,13
50	50,0	1,9	99	30,5	2,06	481	19,0	2,03	863	7,51	2,16

Tableau 4 : Influence de la durée d'exposition

Fenêtrage = 1280x960, Binning = 1X1, USB Traffic = 0 (les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 vidéos)



La dernière ligne lue, il reste un délai d'acquisition résiduel correspondant au transfert et au post-traitement de l'image par le driver et SharpCap

Environ 5 ms dans le cas de la QHY224C.

La simple correction de ligne par la formule habituelle n'est donc qu'approximative.

### Bilan

#### Le délai d'acquisition :

- ne dépend pas de la durée d'exposition pour une même ligne du capteur
- dépend de la ligne du capteur laquelle se trouve la LED (ou l'étoile).

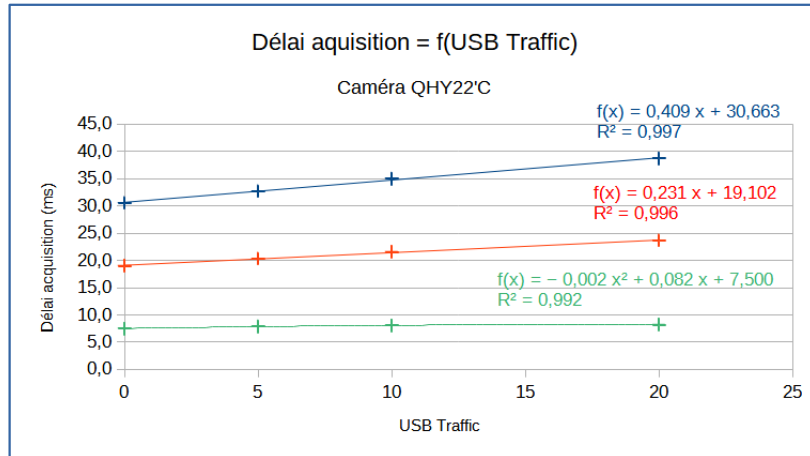
# Résultats avec une caméra Rolling Shutter QHY224C

## Influence de la vitesse USB (USB Traffic)

USB Traffic	Inter F. (ms)	3 $\sigma$	LED1 Y	Delai_1 (ms)	3 $\sigma$ _1	LED2 Y	Delai_2 (ms)	3 $\sigma$ _2	LED3 Y	Delai_3 (ms)	3 $\sigma$ _3
0	40,0	2,1	99	30,6	2,24	481	19,0	2,11	863	7,5	2,13
5	40,0	1,8	99	32,7	2,01	481	20,3	2,17	863	7,9	2,06
10	40,0	1,9	99	35,0	2,09	481	21,6	2,12	863	8,1	2,20
20	40,0	1,8	99	38,7	3,18	481	23,6	2,31	863	8,2	2,69

Tableau 5 : influence de l'USB Traffic

Fenêtrage = 1280x960, Binning = 1x1, Expo = 40 ms (les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 vidéos)



## Bilan

Le délai d'acquisition dépend de :

- de la vitesse de transmission USB
- de ligne du capteur sur laquelle se trouve la LED (ou l'étoile).

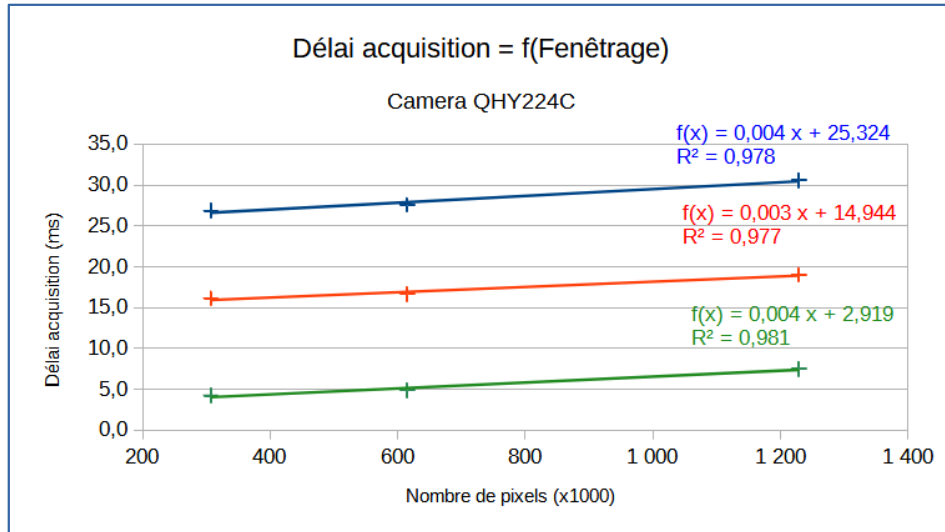
# Résultats avec une caméra Rolling Shutter QHY224C

## Influence du fenêtrage

Fenêtrage	Inter Fr. (ms)	3 $\sigma$	LED1 Y	Delai_1 (ms)	3 $\sigma$ _1	LED2 Y	Delai_2 (ms)	3 $\sigma$ _2	LED3 Y	Delai_3 (ms)	3 $\sigma$ _3
1280x960	40,0	2,09	99	30,6	2,24	481	19,0	2,11	863	7,5	2,13
640x960	40,0	2,56	99	27,6	5,15	481	16,7	2,59	863	4,9	3,54
320x960	40,0	3,04	99	26,8	4,98	481	16,1	2,49	863	4,2	3,12

Tableau 6 : Influence du fenêtrage

Binning = 1x1, Expo = 40 ms, USB Traffic = 0, Gain = 10 (les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de 3 vidéos)



## Bilan

Le délai d'acquisition dépend :

- du fenêtrage, donc du nombre de pixels transmis par la liaison USB
- de ligne du capteur sur laquelle se trouve la LED (ou l'étoile)

# Conclusions

Facteur	Influence
Exposition	NON
Gain	NON
Fenêtrage	OUI
Vitesse USB	OUI
Binning	OUI

Pour se simplifier la vie, une bonne solution :

- Adopter seulement un ou deux jeux de paramètres (fenêtrage, binning, vitesse USB).
- Mesurer les délais d'acquisitions correspondants et les appliquer.

Pour une caméra à Rolling Shutter, il est nécessaire de positionner la LED (ou l'étoile) :

- **toujours sur la même ligne du capteur,**
- le plus simple est de **la centrer sur le capteur.**

Il n'est pas nécessaire de connaître le sens du balayage avec la méthode utilisée.

Pour tout changement, **logiciel ou matériel**, dans la chaîne d'acquisition :

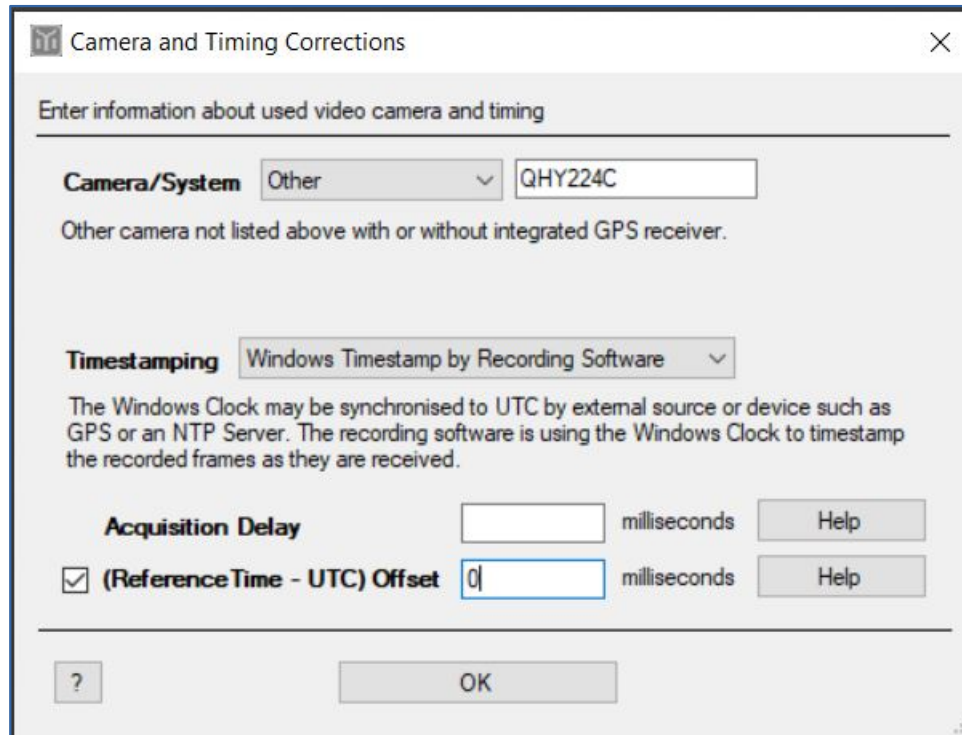
- **il convient de vérifier que la valeur du délai d'acquisition n'a pas été modifiée.**



# Conclusion finale

La méthode décrite permet de mesurer le délai d'acquisition d'une caméra numérique à  $\pm 2$  ms à 99.7 %.

Il ne reste plus qu'à remplir le formulaire de Tangra.



The screenshot shows a dialog box titled "Camera and Timing Corrections" with a close button (X) in the top right corner. The main instruction is "Enter information about used video camera and timing".

**Camera/System**: A dropdown menu is set to "Other" and a text box contains "QHY224C". Below this, it says "Other camera not listed above with or without integrated GPS receiver."

**Timestamping**: A dropdown menu is set to "Windows Timestamp by Recording Software". Below this, it says "The Windows Clock may be synchronised to UTC by external source or device such as GPS or an NTP Server. The recording software is using the Windows Clock to timestamp the recorded frames as they are received."

**Acquisition Delay**: A text box is empty, followed by the label "milliseconds" and a "Help" button.

**(Reference Time - UTC) Offset**: A text box contains "0", followed by the label "milliseconds" and a "Help" button.

At the bottom, there is a question mark icon on the left and an "OK" button in the center.

# Annexe A

## Modification de la durée du signal PPS

La durée du signal PPS peut être allongée en utilisant un circuit intégré monostable type CD4538 ou équivalent. Le principe du montage se trouve facilement sur Internet, par exemple [11].

Cette adaptation a été effectuée en 2016 pour le système d'horodatage OST [12] avec un circuit CD14538BE de Texas Instruments acheté chez Conrad.

Avec une résistance de 100 k $\Omega$  et un condensateur 4,7  $\mu$ F la durée théorique est de 470 ms pour une valeur réelle de 464 ms. La valeur réelle est fonction de la tolérance des composants, il faut donc la mesurer.

A la date de rédaction du présent document le CD14538BE ne semble plus disponible chez Conrad.

Il faudra donc faire une recherche sur Internet avec 'CD4538' pour trouver un circuit équivalent et (ou) un autre fournisseur.

# Bibliographie

[1] contact : plc (at) nocturno.fr ; site web : <http://www.nocturno.fr/>

[2] 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.

[3] Module GPS : [https://store.uputronics.com/index.php?route=product/product&path=64&product\\_id=84](https://store.uputronics.com/index.php?route=product/product&path=64&product_id=84)

[4] Le module GPS disponible chez Kubii :

<https://www.kubii.fr/cartes-breakout/3352-module-breakout-gps-ublox-max-m8q-pour-antennes-actives-3272496306752.html>

[5] Le Cam P., Marquette J.B., Réalisation et validation d'un serveur de temps strate 1 en mode autonome, Société Française d'Astronomie, Ecole de Photométrie 2022 à Besançon.

[6] Meinberg NTP software :

<https://www.meinbergglobal.com/english/sw/ntp.htm>

[7] NTP Time Server Monitor :

<https://www.meinbergglobal.com/english/sw/ntp-server-monitor.htm>

[8] SharpCap :

<https://www.sharpcap.co.uk/sharpcap/downloads>

[9] Tangra :

<http://www.hristopavlov.net/Tangra3/>

[10] Fichier exemple de calcul :

<http://www.nocturno.fr/scripting/acqd.html>

[11] Monostables : [https://www.sonelec-musique.com/electronique\\_bases\\_monostables.html](https://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_monostables.html)

[12] OST : <http://www.nocturno.fr/ost/ost.html> et <http://www.nocturno.fr/ost/electronique.html>