



# L'erreur périodique<sup>1</sup> et sa mesure

JP. Maratrey et C. Gelé - Février 2013

## 1 - L'EP, pour quoi faire?

Une monture motorisée est un système mécanique, monté sur un pied stable, dont le but est d'assurer trois fonctions principales :

1. Supporter efficacement l'optique.
2. Faciliter le pointage d'un objet.
3. Compenser la rotation de la Terre pour conserver l'objet observé dans le champ de l'instrument.



Une monture de type allemande comporte deux axes :

1. L'axe d'ascension droite est parallèle à l'axe de rotation de la Terre et tourne à la même vitesse que notre planète sur elle-même mais en sens inverse. Ainsi, l'objet visé reste immobile dans le champ de l'oculaire.
2. L'axe de déclinaison est perpendiculaire à l'axe d'ascension droite et permet le pointage des objets où qu'ils soient dans le ciel.

Dans le point 1, J'ai utilisé le terme « reste immobile ». Ce serait vrai en théorie si les éléments mécaniques étaient parfaits, mais ce n'est jamais le cas. La meilleure, la plus précise et la plus sophistiquée des montures aura des défauts, certes minimes, mais non nuls. Ils se traduisent par des oscillations de l'objet autour d'un point central.

Ce sont ces défauts que la mesure de l'EP se propose de déterminer.

Cette connaissance est importante, car elle nous indiquera l'« immobilité » relative de l'objet observé dans le champ.

Dans le cas d'un astram observateur, l'oscillation lente de l'objet dans le champ n'est pas un problème (si elle reste raisonnable !).

Par contre, pour la photo, il est nécessaire de garder l'objet vraiment immobile dans le champ pendant la durée de la pose. La qualité de la monture et son EP auront une influence capitale sur le résultat, même si aujourd'hui, l'auto guidage permet de s'en affranchir en partie. Plus l'EP sera faible et ses variations lentes, plus l'autoguidage sera performant.



Déplacement d'une étoile due à l'EP.

Pour conclure ce chapitre introductif, la mesure de l'EP permet de :

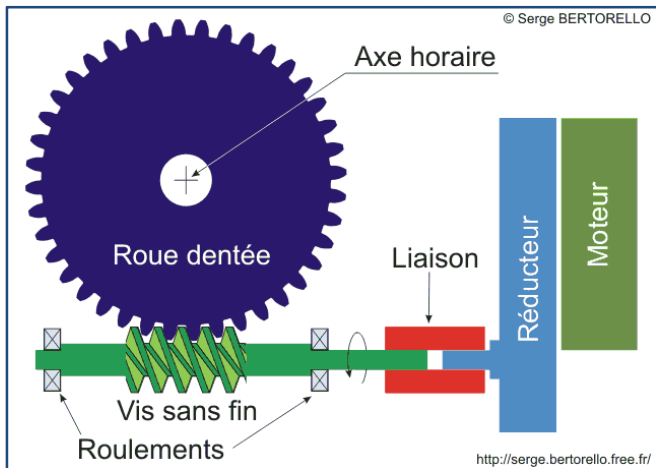
- Connaître la qualité de sa monture.
- Evaluer sa capacité à maintenir un objet astronomique en place sur un capteur pendant une pose photographique.

<sup>1</sup> Dans ce document, l'erreur périodique sera notée EP.

## 2-La mécanique

La bonne connaissance de la mécanique de l'entraînement de l'axe horaire en particulier, va permettre de repérer, grâce à l'enregistrement de l'EP, quel élément mécanique génère des variations dans le suivi d'une étoile.

Le moteur d'une monture doit tourner assez vite pour assurer un minimum de stabilité dans sa vitesse. Mais en sortie, l'axe horaire doit avoir une vitesse fixe, celle de la rotation sidérale de la terre (en sens inverse).

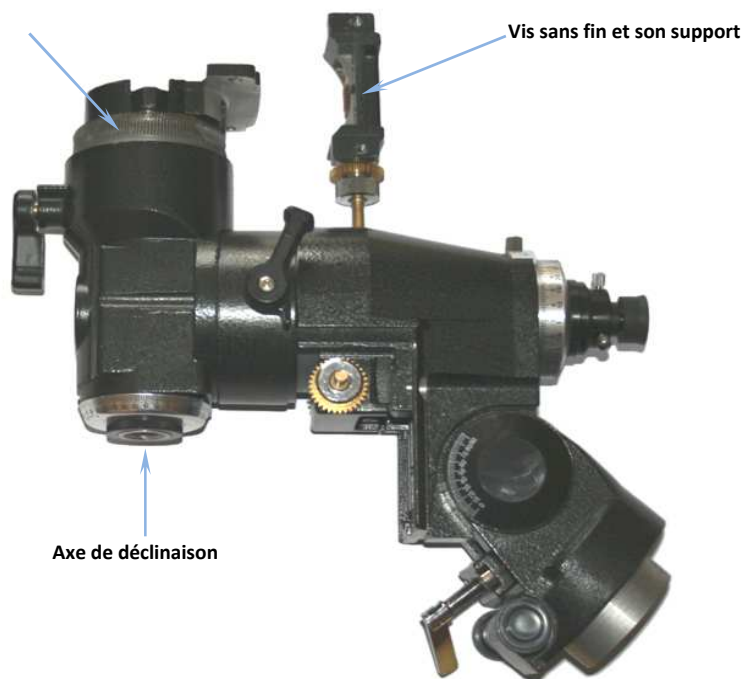


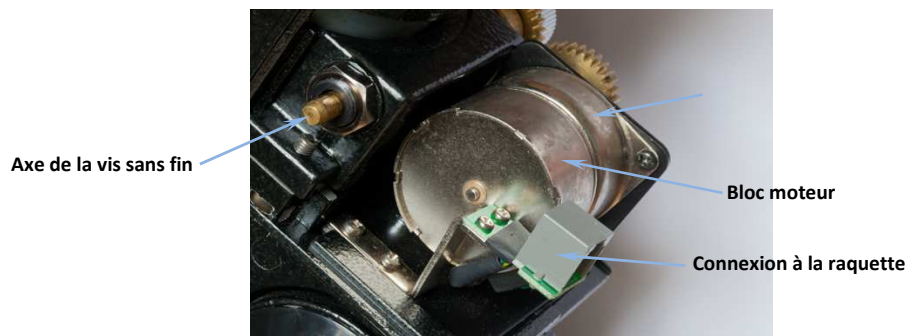
Ce schéma de principe dû à Serge Bertorello, montre le fonctionnement du système permettant de faire tourner l'axe horaire à la bonne vitesse (« la vitesse sidérale »).

Un moteur voit sa grande vitesse réduite une première fois grâce à un ensemble de roues et pignons, le réducteur. En sortie du réducteur, le mouvement est transmis à une vis sans fin, qui elle-même entraîne une couronne dentée (dans ce schéma, une roue dentée) solidaire de l'axe d'ascension droite.

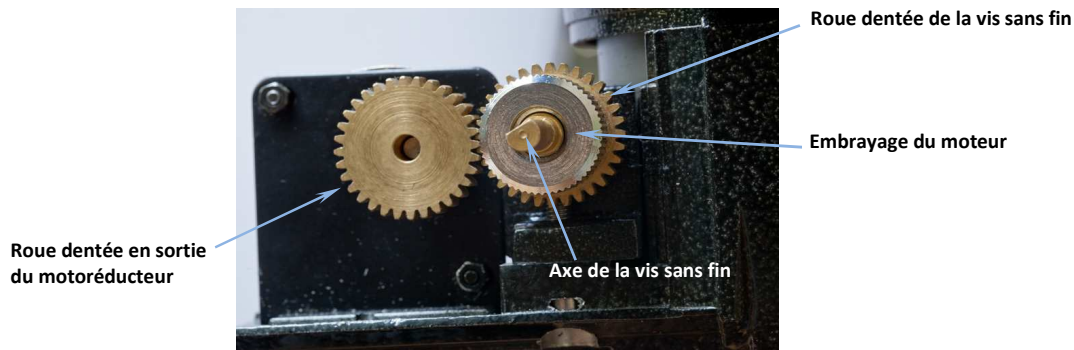
Le couple vis sans fin-roue dentée permet une forte démultiplication avec seulement deux éléments mécaniques.

### Exemple d'une CG5 :





Liaison bloc moteur-vis sans fin par roue dentée :



Voilà pour le principe de fonctionnement.

Voyons maintenant l'ordre de grandeur de la réduction finale, entre le moteur qui tourne à 100 tours/mn par exemple, et la Terre qui fait un tour sur elle-même en un peu moins de 24 heures, plus exactement 23 heures 56 minutes et 4 secondes, soit 86 164 s.

La rotation de la Terre est donc de 0,000696 tour/mn. La démultiplication doit être de 143 600 fois environ ! Si la vis sans fin fait un tour en 8 mn, le réducteur démultiplie de 800 fois, et le système roue dentée-vis sans fin de 179,5 fois.

Toute erreur ou imperfection des nombreux éléments du système, aura pour conséquence de faire varier la vitesse finale de la couronne dentée, et une étoile se déplacera sur l'axe d'ascension droite, au lieu de rester en place.

Les sources d'imperfection sont multiples :

- La régularité du moteur
- L'usure et le positionnement (les jeux) des diverses roues, axes et pignons du réducteur
- L'usure de la vis sans fin et de la couronne dentée (différentes qualités de vis et de couronne existent)
- Le positionnement des pièces les unes par rapport aux autres
- La qualité des roulements ou des paliers de la vis sans fin
- La qualité de la liaison entre les pièces
- Le graissage et la qualité des graisses (fluides à toutes températures)
- Les alignements des axes

- Un déséquilibre trop important de la monture
- La répartition des pressions, les frictions
- L'usure de toutes ces pièces mécaniques
- Les variations de la température qui dilatent ou contractent les métaux et font varier les résistances électriques
- La présence de poussières....

Un entretien régulier s'impose !

Chacun aura sa part dans le non-respect du suivi d'une étoile. On le voit, aucune monture basée sur ce principe ne donnera un suivi parfait. Mais certaines seront meilleures que d'autres, ce qui justifiera leur prix.

A noter que seuls deux ou trois filets sont utilisés sur la vis sans fin.

Mais tentons de hiérarchiser tous ces défauts.

Le plus important est dû à la vis sans fin. C'est elle qui tourne le moins vite après la couronne dentée. Si, comme dans notre exemple, la vis fait un tour en 8 minutes, les erreurs de suivi (de vitesse de l'axe horaire) se reproduiront toutes les 8 minutes. Voyons de plus près à quoi est dû ce cycle :

La vis sans fin se présente ainsi :

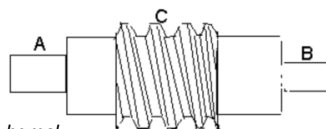


Schéma : Jean-Luc Duhamel

L'axe des filets doit être confondu avec l'axe de rotation de la vis, déterminé par la position des parties A et B. Ceci est réalisé par des roulements à billes ou des paliers lisses. Certains roulements ou paliers de piètre qualité d'usinage ou usés sont responsable d'oscillations de bas en haut et d'avant en arrière (mouvement circulaire) de la vis sans fin. Nous verrons que les deux axes cités doivent être parfaitement confondus pour limiter l'EP.

La vis sans fin donc va se rapprocher et s'éloigner de la roue dentée (sur deux axes) alternativement à chacun de ses tours. Ce défaut est appelé l'« erreur de concentricité ». La partie B par exemple va décrire un cercle.

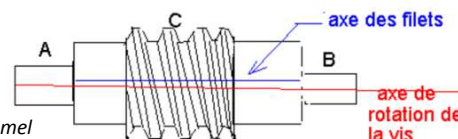
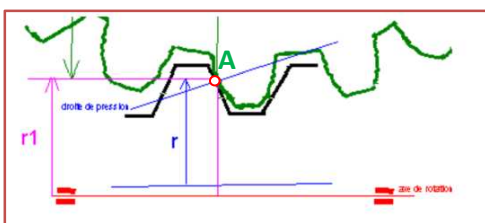
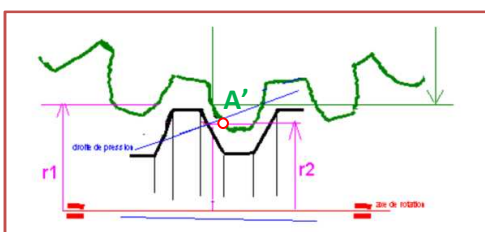


Schéma : Jean-Luc Duhamel



Dans cette configuration, la vis sans fin est en position haute. Le point de contact entre le filet de la vis sans fin et la dent de la couronne est en A. La distance entre ce point et l'axe de rotation de la vis est  $r1$ .



Un demi-tour après, la vis sans fin s'est abaissée du fait de l'erreur de concentricité. Le point de contact passe en A', à une distance  $r2$  de l'axe de rotation de la vis sans fin. A' est situé plus vers l'extérieur de la dent de la couronne. Ce mouvement du point de contact entre A et A' engendre une réduction de la vitesse de la couronne pour rattraper le jeu créé.

Schémas : Jean-Luc Duhamel

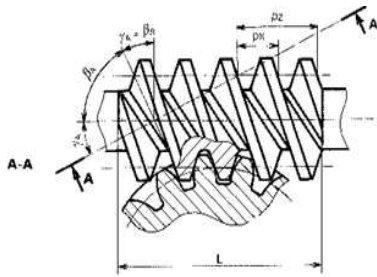
L'angle de pression, entre la « droite de pression », ici en bleu, et l'axe de rotation de la vis (en rouge), est fonction de la géométrie des filets de la vis et des dents de la couronne. Sa valeur permet d'évaluer la réversibilité de la démultiplication (la vis entraîne la couronne, ou la couronne entraîne la vis).

L'erreur de concentricité va donc entraîner une accélération, puis un ralentissement au cours de la rotation de la couronne dentée autour d'une valeur moyenne. C'est la période principale de l'EP.

Comme nous venons de le voir, le positionnement correct de la vis sans fin par rapport à la couronne dentée est assuré soit par des roulements à billes, soit par des paliers lisses. La qualité de ces éléments est cruciale. D'autre part, leur usure va décupler l'erreur de concentricité. Les prix de ces pièces tournantes (certes lentement) est en liaison directe avec leur qualité.

Un calcul rapide faisant intervenir le rayon de la couronne et l'angle de pression, montre dans le cas de notre CG5, qu'une erreur de concentricité de  $5\mu$  (un débattement total double, soit  $1/100^{\text{ème}}$  de mm) génère une EP principale de  $40''$  !

Ce type de désagrément se retrouve au niveau de tous les engrenages du système de transmission du mouvement du moteur, chacun avec sa propre période.



Mais tout ceci repose sur une schématisation en deux dimensions du système. Il faut bien se rendre compte que la réalité est en 3 dimensions, et bien plus complexe.

Le chapitre 4 – Analyse des données, montre comment faire le tri et repérer quel élément de la chaîne de transmission est responsable d'une variation de la vitesse de l'axe horaire.

Mais d'abord, voyons comment mesurer cette EP sur le terrain, en s'aidant du mouvement apparent d'une étoile à l'oculaire.

### 3–La mesure par la pratique

Le but recherché est dans un premier temps de construire un graphique donnant la variation angulaire du déplacement d'une étoile en fonction du temps.

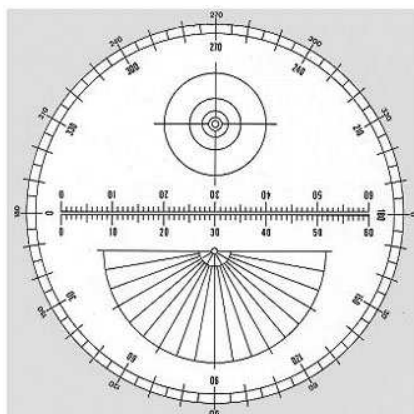
Il existe plusieurs façons de mesurer l'EP d'une monture.

#### 3 – 1 Méthode manuelle :

La première est archaïque et entièrement manuelle, mais est utilisable sans webcam et sans ordinateur, à l'ancienne.

Elle consiste à s'équiper d'un oculaire réticulé comportant une échelle graduée micrométrique, comme par exemple l'oculaire réticulé de 12,5 mm de focale de Celestron<sup>®</sup>.

Son réticule se présente ainsi :



L'échelle horizontale linéaire, mesure 6 mm. Chaque graduation (il y en a 60) mesure 100  $\mu$ , soit 0,1 mm.

En connaissant la focale résultante de notre instrument<sup>2</sup>, nous pouvons en déduire l'angle sous-tendu par une graduation, et ainsi mesurer des distances angulaires.

Une fois l'étoile choisie, l'échelle est alignée est-ouest (voir plus bas), et l'étoile placée au centre. On s'équipe d'un papier, d'un crayon, et on note par exemple toutes les 10 secondes la position de l'étoile sur l'échelle linéaire. La mise en station doit être la meilleure possible pour éviter les dérives nord-sud qu'il ne faudra pas prendre en compte (rectifier au besoin la position de l'étoile en déclinaison pour qu'elle reste sur l'échelle linéaire). Il convient de réaliser au moins 3 ou 4 tours de la vis sans fin (selon la monture, 3 ou 4 fois de 5 à 15 mn).

Le tableau ainsi constitué est transformé en un beau graphique sur papier millimétré (s'il en existe encore !) qui donne le déplacement en secondes d'arc en fonction du temps. Nous voici en possession de notre EP.

L'analyse de ce type de graphique ne manque pas d'intérêt mais est restreinte. La fréquence des échantillons n'étant pas assez élevée, des variations rapides passent inaperçues. Mais c'est mieux que rien, et permet une première approche.

#### 3 – 2 Méthode informatisée :

Les capteurs des webcams (au même titre que les caméras CCD), aidés par des logiciels dédiés, permettent d'automatiser la tâche, d'augmenter l'échantillonnage et d'aller plus loin dans l'analyse des résultats.

Nous allons détailler les opérations pour une monture allemande équipée d'une webcam reliée à un ordinateur. Les logiciels utilisés pour l'exemple seront IRIS et PEAS. Ces deux logiciels sont gratuits.

La mesure se fait en deux temps :

- La saisie des données : c'est l'enregistrement des variations de position d'une étoile, sur le terrain, à l'aide d'une simple webcam et d'un logiciel de capture comme Astrosnap, Prism, IRIS...
- Le traitement des données, l'analyse de l'EP. Ceci est réalisable par Guidemaster, PECPrep, PEAS...

Saisie des données :

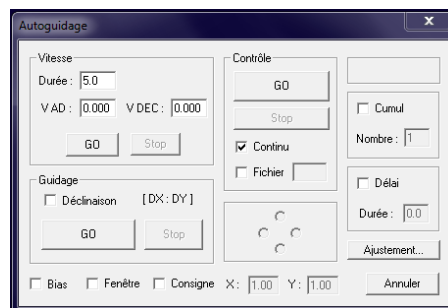
Voyons d'abord comment procéder sur le terrain avec le logiciel gratuit IRIS disponible ici : <http://www.astrosurf.com/buil/iris/iris.htm>

1. **Monter l'instrument** : pied, monture, contrepoids (si monture allemande), tube optique, pare buée, caméra reliée mécaniquement au télescope et informatiquement à l'ordinateur. Equilibrer l'ensemble, mais conserver un très léger déséquilibre sur l'axe d'ascension droite.

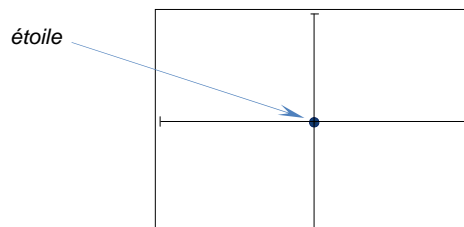
<sup>2</sup> La focale résultante de l'instrument peut également être mesurée à l'aide de cet oculaire réticulé. Voir l'exposé « Mesures avec un oculaire réticulé » sur le site de Quasar 95 sur ce sujet.

2. Effectuer la **mise en station** la meilleure que vous n'avez jamais réalisée. C'est très important pour que l'étoile choisie reste dans le champ du capteur de la webcam (très petit...) pendant un minimum de 30 mn. Terminer par une Bigourdan est un must. L'analyse en déclinaison donnera une bonne estimation de la qualité de la mise en station.
3. **Choisir l'étoile** qui va nous servir pendant tout le processus de mesure. Elle doit être au plus proche de la déclinaison zéro et proche du méridien<sup>3</sup>. Ni trop brillante pour qu'elle ne sature pas le capteur et ne s'étale sur trop de photosites, ni trop faible, il faut qu'elle soit reconnue par la webcam ! Noter la déclinaison de cette étoile, elle sera nécessaire par la suite au moment de l'analyse des données. **Focaliser** l'étoile.
4. **Orienter la caméra** dans l'axe est-ouest. Ceci nous permettra de distinguer les dérives en ascension droite (est-ouest) de celles en déclinaison (nord-sud). On utilise encore notre webcam. Voici comment procéder :

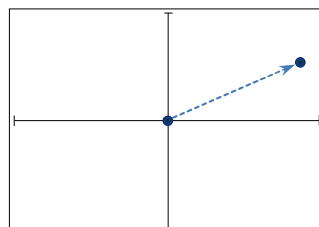
- a) Mettre le moteur de suivi en route, démarrer IRIS. Aller dans l'onglet « Vidéo » et cliquer sur « Autoguidage ». Dans la fenêtre qui s'affiche, on ne s'intéresse qu'au cadre « Contrôle ». Cocher la case « Continu » et cliquer sur « Go ». L'image de la caméra s'affiche.



- b) Amener l'étoile (focalisée) au centre du cadre. L'image donnée par la caméra se présente ainsi :

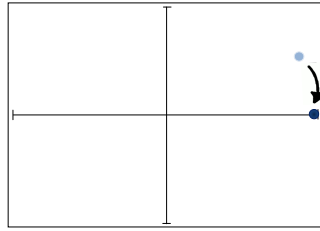


- c) Couper le moteur de suivi. L'étoile se déplace vers l'extérieur du champ. Remettre en route le moteur de suivi juste avant que l'étoile ne sorte du champ.



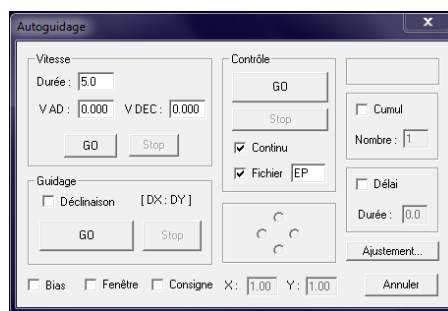
<sup>3</sup> Avec les montures allemandes, attention au retournement au méridien. Il ne doit pas avoir lieu pendant la mesure !

d) Tourner la caméra dans son coulant pour amener l'étoile sur le réticule horizontal.



L'axe horizontal, le grand côté, est aligné est-ouest. C'est sur cet axe que les déplacements de l'étoile dus à l'EP en ascension droite se feront.

5. Ramener l'étoile au centre.
6. Appuyer sur « Stop » et cocher la case « Fichier ». Donner un nom au fichier qui sera enregistré dans le répertoire de travail d'IRIS par exemple ici : EP.



7. Appuyer sur « Go » pour démarrer la saisie. Laisser tourner le plus longtemps possible, au moins pendant 3 à 4 tours de la vis sans fin. Par exemple, pour une monture EQ5, la vis sans fin fait un tour en 8 mn. 3 tours dureront 24 mn. Plus le nombre de tours effectués sera grand, plus l'analyse des fréquences de variation sera précise (voir la partie analyse). Un appui sur « Stop » arrête l'enregistrement.

IRIS crée deux fichiers qui seront notés dans notre exemple [EPx.dat](#) et [EPy.dat](#). Le premier enregistre les variations en x, c'est-à-dire en ascension droite, le second enregistre les variations en y, en déclinaison. Ils seront utilisés pour l'analyse.

Le logiciel PEAS ira rechercher les données dans un répertoire spécifique nommé : « Input\_data\_files ». Transférer les deux fichiers générés par Iris dans ce répertoire.

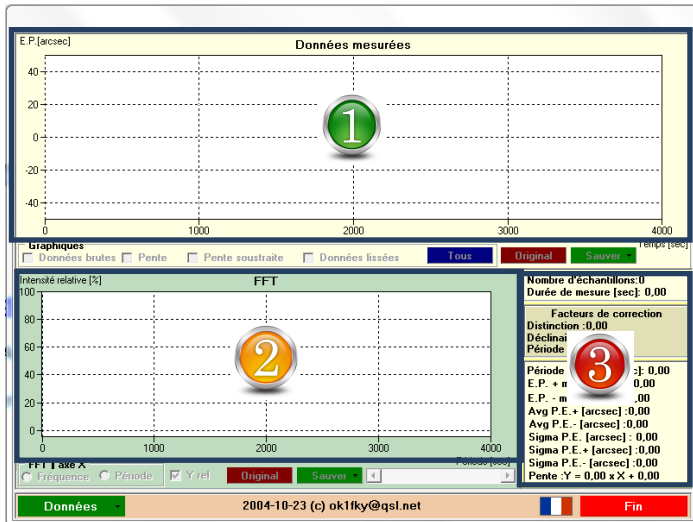
Un dernier mot : attention à ne pas mesurer la turbulence ou les rafales de vent... Faire les mesure un jour où ces deux inconvénients sont minimisés.



## 4-L'analyse des données

Le logiciel gratuit PEAS est disponible ici : [http://www.grecner.cz/astro/peas\\_f.htm](http://www.grecner.cz/astro/peas_f.htm)

A l'ouverture, il ressemble à ceci :



Si le texte n'est pas en français, cliquer sur le drapeau en bas à droite, jusqu'à obtention de la langue désirée.

- 1 Graphique des données mesurées
- 2 Graphique FFT (Fast Fourier Transform)
- 3 Résultats de l'analyse

Pour charger les données enregistrées par IRIS, il suffit d'appuyer sur la flèche noire à côté de la case verte « Données » en bas et à gauche.

Une fenêtre s'ouvre où il faut choisir le logiciel d'origine des données. Nous avons le choix entre Autoguided, AstroArt, Astrosnap, K3CDD et IRIS.

C'est ce dernier choix qui nous intéresse.

La fenêtre qui s'ouvre ensuite s'appelle « Facteurs de correction ». Plusieurs données sont nécessaires pour transformer les variations de position de l'étoile fournies par IRIS en pixels, et obtenir des variations en secondes d'arc.

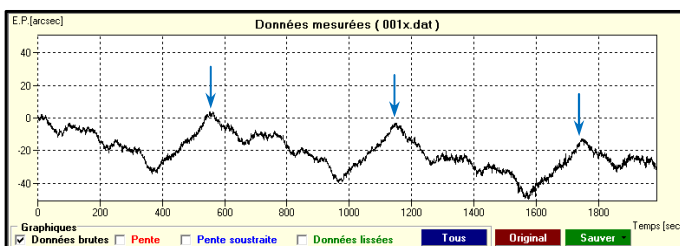
Les données à renseigner sont :

- La taille des pixels de la caméra en microns. Ici 5,6  $\mu$ .
- La focale résultante de notre montage. Elle est à mesurer le plus exactement possible. Il en a été question en page 3<sup>4</sup>. A gauche et en rouge, s'affiche la conversion calculée qui n'est autre que l'échantillonnage.
- La déclinaison de l'étoile. Ici, l'étoile Procyon, dans le petit chien a été choisie.
- La période maxi en rouage RA détermine l'axe des temps de la courbe FFT (voir plus loin).

Facteurs de correction		
1	Distinction [arcsec/pixel] <b>0,578</b>	Grandeur de pixel [um] 5,6
= $3600 \times \text{Arctg} ( \frac{5,6}{2000} )$		
2	Correction de déclinaison <b>1,00</b>	Angle de déclinaison DE d'étoile mesurée Cos [ 5 o 13 min 29 sec ]
3	Période maxi en rouage RA de la monture [sec] 3600	
<b>Continuer</b>		<b>Annuler</b>

### 4 – 1 Etude du fichier EPx.dat (dérives en ascension droite)

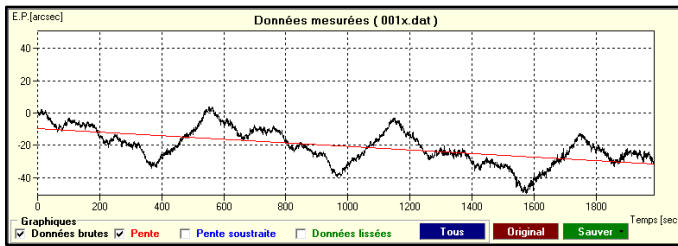
L'appui sur « Continuer » permet de retrouver l'endroit où les données d'IRIS sont stockées. Pour rappel, nous disposons de deux fichiers. Nous nous intéresserons dans un premier temps à EPx.dat qui donne les dérives en ascension droite et permet donc la mesure de l'EP.



Voyons le graphique « Données mesurées ». Plusieurs options sont offertes sous le graphique. Ici sont représentées les données brutes, en noir.

<sup>4</sup> On peut également utiliser la webcam pour mesurer le temps de passage d'une étoile d'un bord à l'autre du capteur, et en déduire la focale.

Nous constatons sur cet exemple une variation périodique de la position de l'étoile (les pics périodiques sont repérés par les flèches bleues, à environ 600 s d'intervalle), mais aussi une certaine dérive des mesures vers le bas. PEAS est capable de mesurer la pente de cette dérive. C'est la courbe rouge :

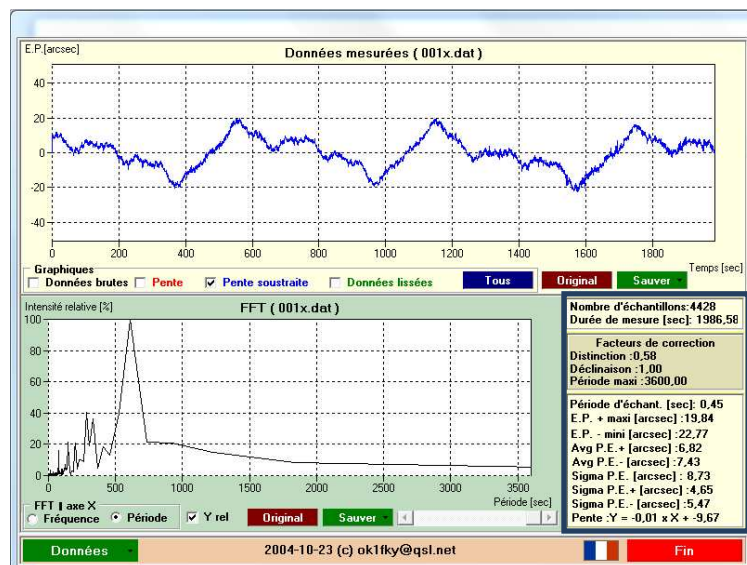
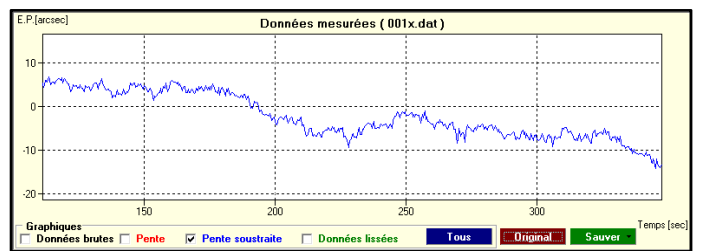
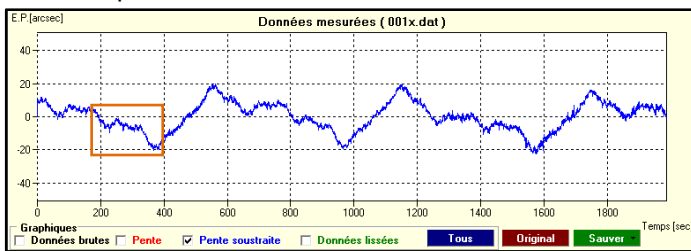


Cette dérive a pour origine un mauvais ajustement de la vitesse sidérale de la monture.

Si cette vitesse est correcte, la courbe rouge doit être horizontale. Nous avons ici une pente négative. La vitesse est trop faible de 0,6"/mn. Il s'agit de savoir, selon les conditions de prise de vue (pose, grossissement...), si cette déviation est acceptable ou non.

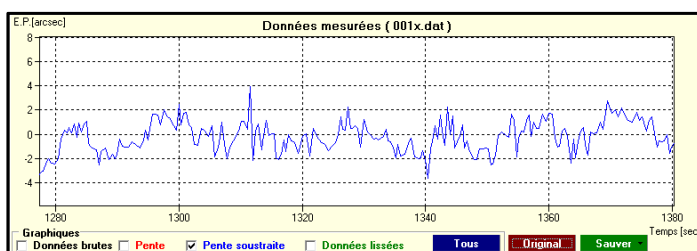
Maintenant, PEAS peut nous montrer ce que serait l'EP sans cette pente. Nous obtenons cette courbe corrigée en cochant « Pente soustraite ». La pente et les données brutes sont enlevées sur le graphique ci-dessous.

En traçant avec la souris un rectangle dans le graphique (en orange ici), nous pouvons agrandir et saisir des détails plus fins :



La zone des résultats donne les valeurs maximales et minimales des variations, ici entre 19,8" et -22,8". Les valeurs moyennes sont également données (Avg), ainsi que l'écart type (Sigma) des variations.

Les valeurs maxi et mini sont les plus intéressantes, car elles nous indiquent le balayage extrême d'une étoile lors d'une pose.



Mais en détaillant la courbe, on s'aperçoit que certaines zones ont une EP plus faible. C'est le cas entre 1280 et 1380 s. Sur cette période de 100 secondes, l'EP est réduite à environ  $\pm 2''$ . Les variations résiduelles sont par contre très rapides.

Revenons à notre courbe complète (réalisable en cliquant sur « Original »). Si l'échantillonnage de notre chaîne de capture est de l'ordre de 40", cette monture convient parfaitement. Ce sera le cas par exemple avec une photo en parallèle utilisant une APN muni d'un capteur APS-C et d'un objectif grand angle de 24mm. Un objectif de 50 mm étalera les étoiles sur deux pixels, ce qui reste correct.

Mais si on utilise une focale plus grande, un télescope ou une lunette par exemple, les poses donneront des étoiles très allongées. Il faudra alors, pour éviter ce phénomène, faire un rattrapage en temps réel, soit en manuel avec une lunette guide ou un diviseur optique, soit en automatique avec une caméra d'autoguidage<sup>5</sup>. Autre solution partielle : utiliser la fonction PEC (PeriodicError Correction) que nous détaillerons plus loin.

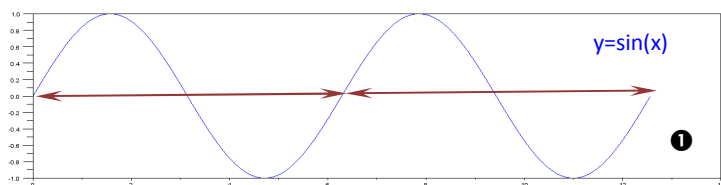
Voyons maintenant la courbe FFT.

FFT veut dire « Fast Fourier Transform ». En français, *Transformée de Fourier Rapide*. C'est un concept mathématique très complexe qui dépasse largement le cadre de cet exposé, et c'est tant mieux !

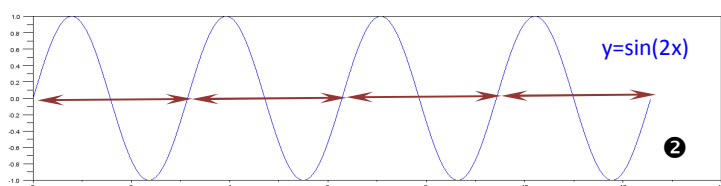
Mais seuls les résultats nous intéressent. Nous allons tenter d'en comprendre l'utilité.

La FFT est un algorithme de calcul des fréquences de variation d'un signal périodique. Nous obtenons un spectre de fréquences qui va nous être utile pour déterminer l'origine de l'EP.

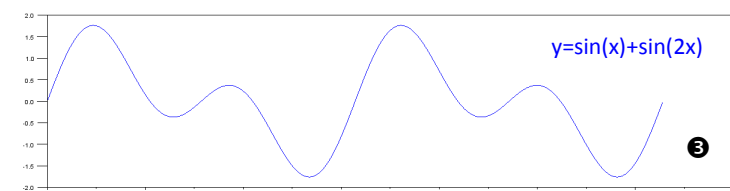
Partons d'un signal sinusoïdal simple, dont la période est, disons 1.



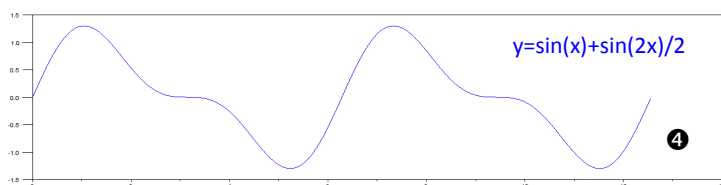
Ce schéma présente deux périodes.



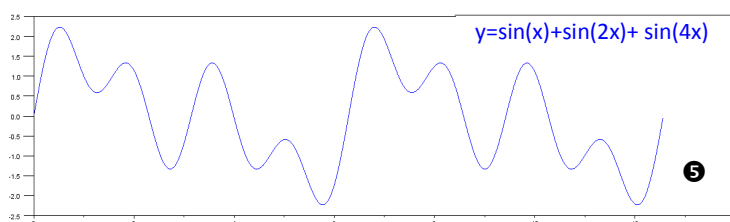
Nous avons ici un signal de fréquence double du précédent. 4 périodes sont représentées dans le même temps.



Cette courbe 3 est l'addition point par point des courbes 1 et 2. Le signal résultant se complique légèrement.



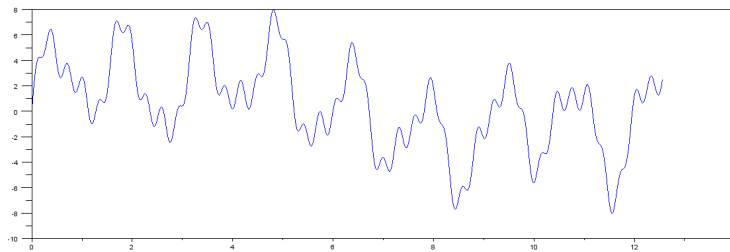
La courbe 4 est toujours l'addition de 1 et 2, mais le poids (l'intensité) de la courbe 2 a été divisé par 2.



Cette courbe est encore un peu plus compliquée. Elle est l'addition des courbes de fréquence 1, 2 et 4 à la même intensité.

<sup>5</sup> Ce sujet fait l'objet d'un autre exposé de Quasar 95.

Le signal ci-dessous, plus complexe, est le résultat d'addition de différentes fréquences, avec des poids différents. On peut ainsi, en choisissant correctement les fréquences et les poids de chacune d'elles, reconstituer n'importe quel signal périodique.

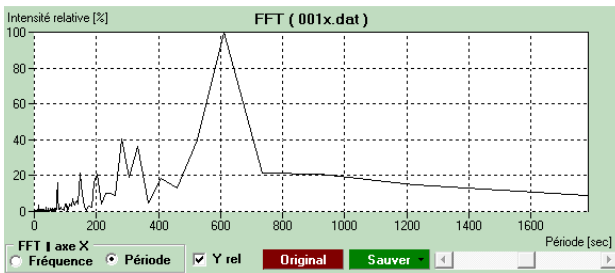


**Inversement, tout signal complexe peut être décomposé en une somme de différentes sinusoïdes dont les fréquences et les intensités peuvent être calculées.**

C'est le travail qui est réalisé pour tracer la courbe FFT. Elle indique quelles sont les fréquences de base de notre EP, par des « pics » dont la hauteur est proportionnelle à l'intensité.

Revenons à PEAS.

La courbe FFT montre un pic principal :

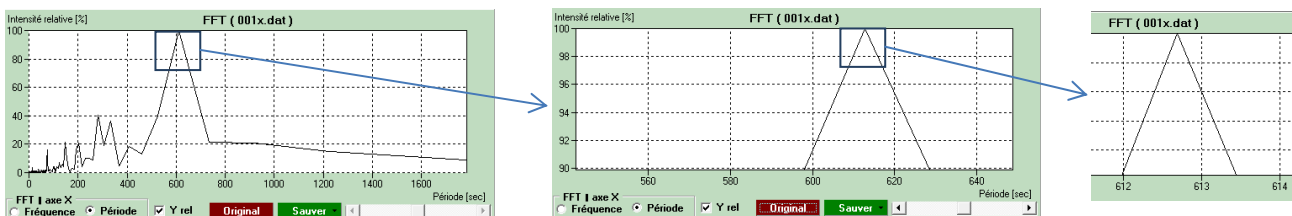


Nous avons là une variation périodique qui revient toutes les 600 secondes (un peu plus).

Si nous approfondissons la mécanique de la monture dont l'EP est montrée ici, nous nous apercevons que la vis sans fin a une période de rotation d'environ 600 secondes.

L'EP principale de cette monture est donc due à un défaut de concentricité de sa vis sans fin.

En sélectionnant à la souris un rectangle dans ce graphique, il est possible de réaliser un agrandissement, et ainsi lire plus précisément la période d'un pic. L'opération peut être répétée plusieurs fois.



Sur ces agrandissements, le pic principal se trouve à un peu moins de 613 secondes.

Nous remarquons également des pics à 400 s, puis à un peu moins et un peu plus de 300 secondes, un autre à 200 secondes, etc.

Cela correspond à des éléments mécaniques particuliers. Si par exemple un engrenage du réducteur fait un tour en 200 s, c'est lui le responsable de la dernière erreur citée.

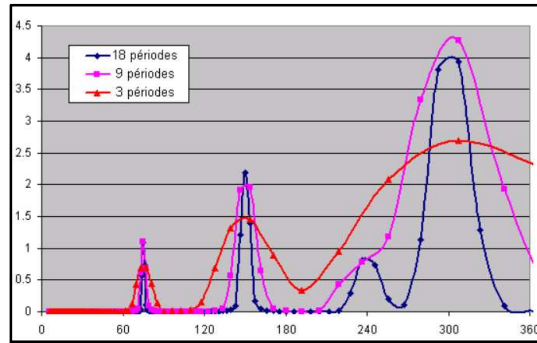
PEAS donne la possibilité de travailler sur les fréquences au lieu des périodes (l'une est l'inverse de l'autre), et permet d'obtenir l'intensité d'un pic de fréquence en valeur absolue ou relative. Enfin, un clic droit dans un graphique permet d'en changer le nom, d'ajouter des étiquettes, et ainsi de personnaliser les résultats.

Note sur la largeur des pics :

La FFT a besoin d'un grand nombre de données, d'un grand nombre de périodes pour affiner les pics. On remarque sur les graphes FFT précédents que le pic principal (ici à 10 mn) est assez étalé.

Si la mesure avait été effectuée sur 10 tours de la vis sans fin au lieu de 3, le pic aurait été plus fin et plus précis.

Le graphique qui suit montre ce phénomène :



Source : Christophe Demeautis

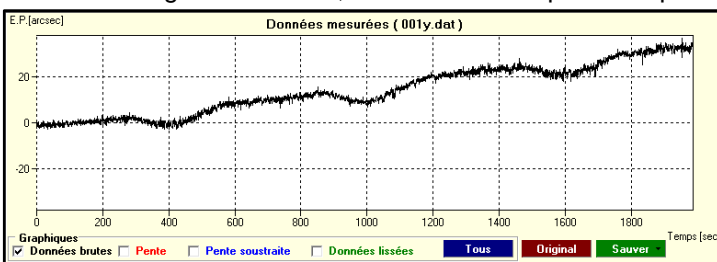
Les pics proches de zéro sont de fait plus fins, car l'analyse FFT s'est faite sur un grand nombre de périodes.

Pour résumer, l'analyse de l'enregistrement en ascension droite (EPx.dat avec IRIS) nous permet de déterminer :

- L'exactitude de la vitesse de suivi sidéral de la monture.
- L'erreur de concentricité de la vis sans fin et la dérive en secondes d'arc d'une étoile sur un tour.
- Quelles pièces mécaniques sont responsables des dérives en ascension droite.

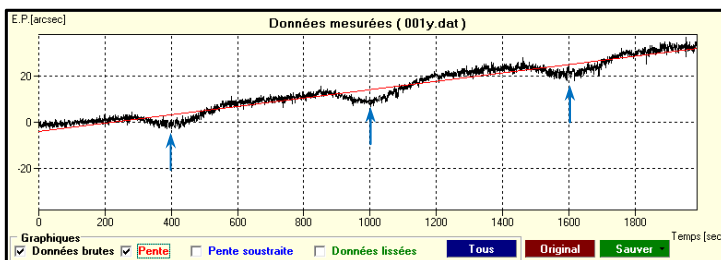
#### 4 – 2 Etude du fichier EPy.dat (dérives en déclinaison)

Une fois chargé dans PEAS, ce fichier donne par exemple ceci :



Cette courbe montre une dérive vers le haut que PEAS peut calculer. La courbe est aussi affectée de variations périodiques.

La dérive en déclinaison est due à une mauvaise mise en station.



La droite rouge en donne la pente moyenne. Elle indique une dérive de 1,1"/mn. Reste encore une fois à savoir si cette erreur est acceptable ou non, sachant qu'elle va provoquer une rotation de champ plus ou moins importante, proportionnelle à cette pente.

Les variations autour de cette valeur moyenne (droite rouge), correspond aux variations de vitesse de notre axe. Si la vitesse d'entraînement s'accroît, la dérive est plus rapide, et inversement. On retrouve la période de rotation de 600 secondes environ de la vis sans fin.

### 5–Comment réduire l'EP

La première méthode consisterait à travailler avec des pièces mécaniques parfaites, ce qui n'existe pas. On peut cependant s'en rapprocher moyennant un investissement conséquent.

#### 5 – 1 LE PEC

PEC veut dire, en anglais, PeriodicError Correction. En français, Correction d'EP.

Les PEC font souvent partie des fonctions des montures GOTO.

L'idée est de suivre une étoile à l'oculaire, et de la conserver le plus exactement possible au centre du champ et opérant des rattrapages avec la raquette de commande.

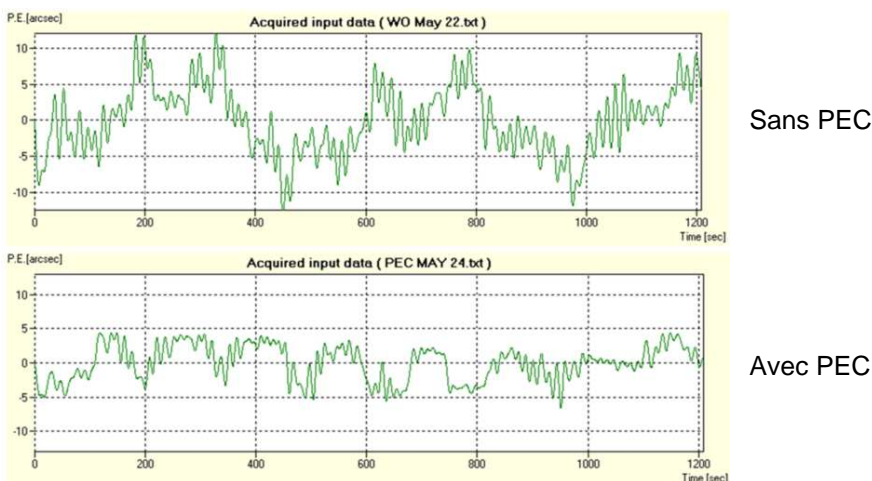
Le système enregistre les mouvements de recentrage pendant 1 tour de la vis sans fin, afin de les reproduire ensuite lors des poses.

Le PEC n'est pas l'arme absolue. Il restera des variations non corrigées :

- Celles qui ont une période supérieure à une rotation de la vis sans fin, comme par exemple des défauts de la couronne dentée.
- Le PEC est réalisé sur 1 tour, et nous savons que l'EP varie d'un tour à l'autre, avec la température, avec l'usure...
- Les variations rapides ne sont pas toujours corrigées à la main, avec la raquette.
- Le PEC enregistre les corrections en ascension droite et en déclinaison. Si la mise en station n'est pas excellente lors de l'enregistrement, le PEC utilisé un autre jour avec une mise en station différente peut être catastrophique. Refaire le PEC à chaque séance.
- Puisque la couronne dentée n'est pas toujours à la même place d'un jour à l'autre, il faudra refaire le PEC à chaque séance.

Si le PEC est correctement exécuté, l'amélioration peut être assez significative (30 à 60% selon les auteurs).

Voici un exemple réalisé sur une monture CGE :



## 5 – 2 Le guidage manuel

Comme on l'a fait pour l'enregistrement du PEC, il consiste à suivre une étoile guide pendant toutes les poses photographiques, soit avec un instrument en parallèle, soit avec un diviseur optique qui prélève une partie de la lumière et la transmet à un oculaire réticulé.

Dans les deux cas, l'étoile choisie est conservée à la même position dans l'oculaire en jouant sur les mouvements de la raquette. Il faut bien entendu choisir correctement la vitesse de rattrapage pour éviter les mouvements brusques.

Cette technique était employée par les amateurs avant l'avènement des capteurs électroniques. Elle a fait l'objet d'un exposé séparé.

## 5 – 3 L'autoguidage

Ici, l'œil et l'oculaire réticulé sont remplacés par une webcam. Un système informatisé mesure les déviations et transmet les corrections à la monture en temps réel, afin de conserver l'étoile guide en place.

Là aussi, ce sujet a fait l'objet d'un exposé à lui seul.

A noter toutefois que l'autoguidage ne fonctionnera correctement que si les variations de la vitesse des axes est lente et l'EP pas trop importante. Une EP faible et lissée facilitera le travail de l'autoguidage, avec des résultats à la hauteur.

Comment s'affranchir définitivement l'EP ?

Réponse : le « Direct Drive » comme avec la monture DDM85 de ASA ou la monture « Nova » de Sky Vision (ci-contre).

Plus de roue dentée, plus de vis sans fin, plus de réducteur, et donc plus d'EP. Seule la turbulence est visible sur les courbes d'EP. Redoutable de précision, mais encore très cher !



## **6- Conclusions**

La mesure de l'EP de nos montures d'amateur permet de bien connaître leur fonctionnement, leurs points forts et leurs faiblesses, les corrections à y apporter.

Elle évalue également leur aptitude à l'astrophotographie, et les conditions dans lesquels on peut atteindre un résultat satisfaisant.

Il ne faut pas hésiter à les démonter, les nettoyer, les régler, les graisser, bref, les dorloter comme elles le méritent.