

MOTORISATION DIRECTDRIVE POUR NOS TELESCOPES

Par C.CAVADORE

ALCOR-SYSTEM

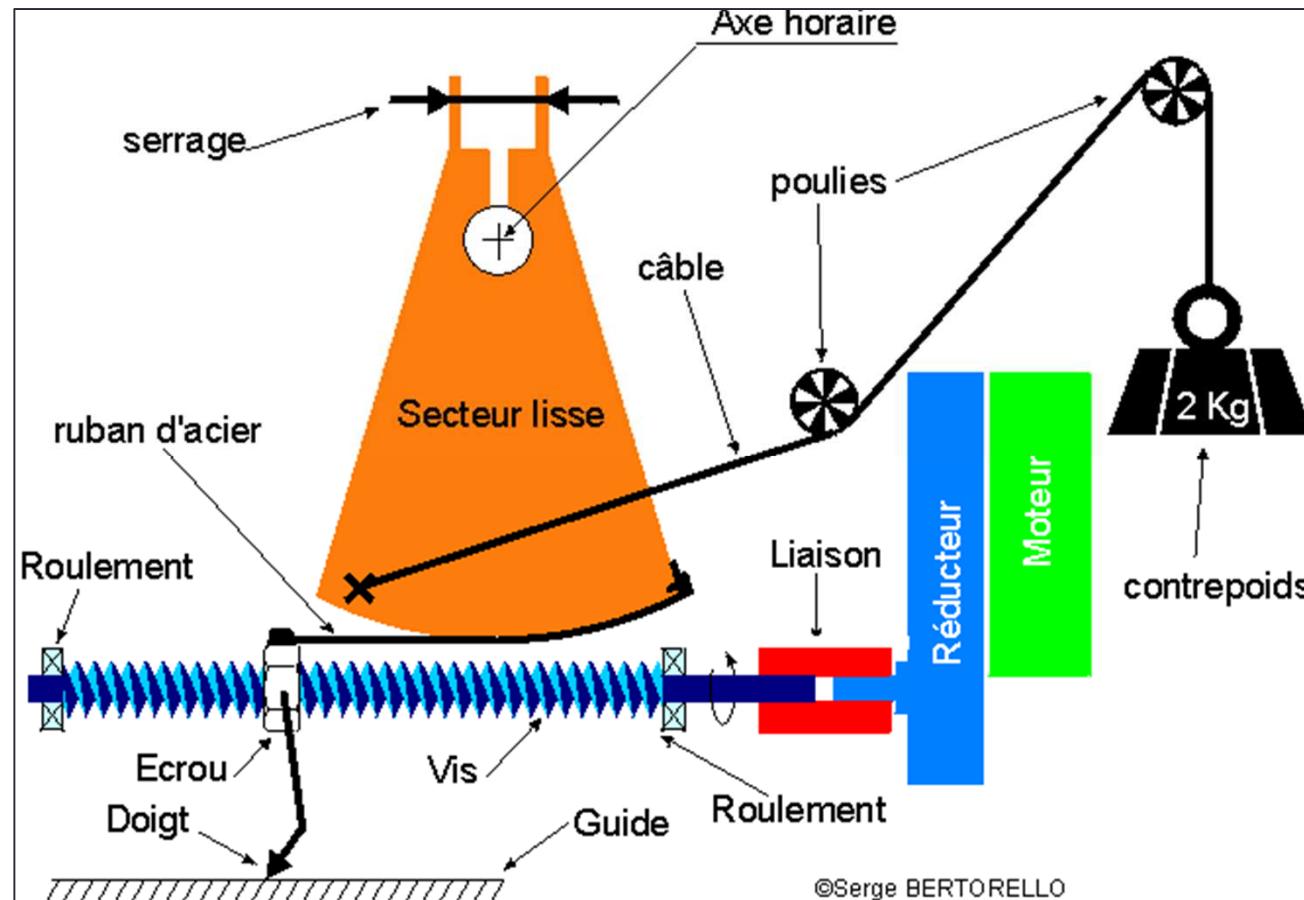
WETAL 2013 – 10 Nov

Pourquoi motoriser un télescope ?

- Pour compenser le mouvement de la terre (15°/h)
 - Observation visuelle
 - Les Objets sont faiblement lumineux : suivi précis pour prise d'images et accumulation des photons
 - Suivre des objets mobiles dans le ciel (comètes, astéroïdes, Lune...)
- Pour pointer automatiquement un objet dans le ciel grâce à ses coordonnées

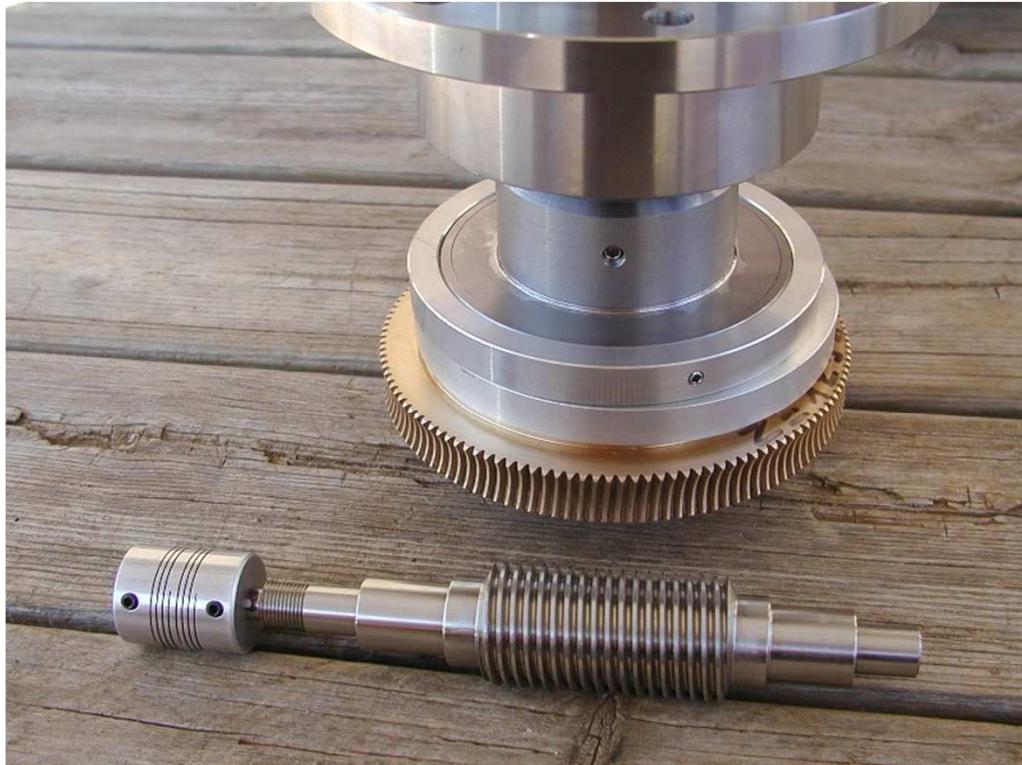
Motorisation à « l'ancienne »

1955-1990



- Faible cout, assez précis si pièces bien usinées
- Mais pas de « Goto », et rembobinages requis

Motorisation à « l'ancienne » 1990 - ...



- Roues et vis
- Couteux et beau
- Pointe sur 360°
- Techno de taille mécanique difficile à maîtriser



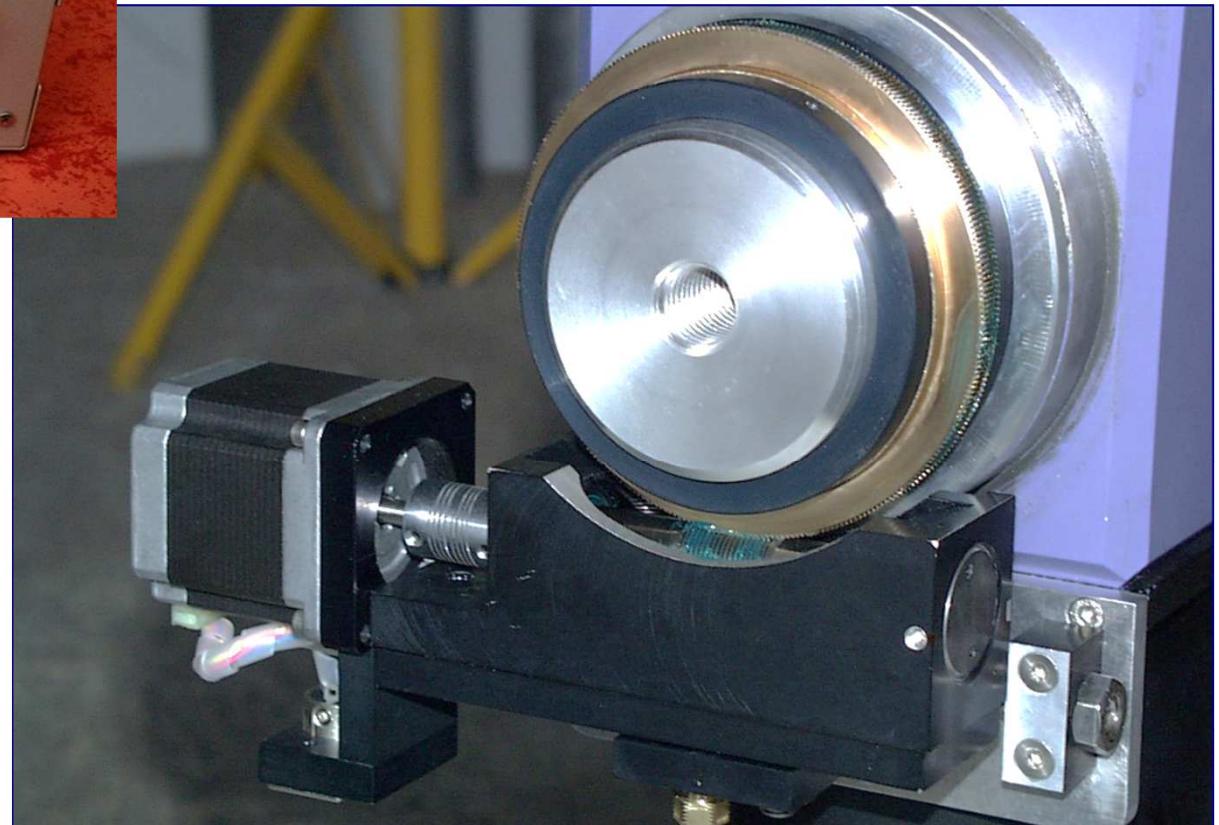
- Erreur périodique !
- Lié à la qualité d'usinage
- Réglages été / hiver
- Jeu aller retour sur l'axe Delta

Motorisation à « l'ancienne »



- Moteurs pas à pas
- Rustique mais assez efficace en « Go-to »

- **Jeux en Delta :**
 - Sensible au vent
 - Rappels aller-retour problématiques
 - Réglages été-hiver
 - Bruit / résonnances
 - Vitesses très lentes..





TRASSUD



AXIS Instruments



MEADE



LX200

ARCANE



A40

GEMINI



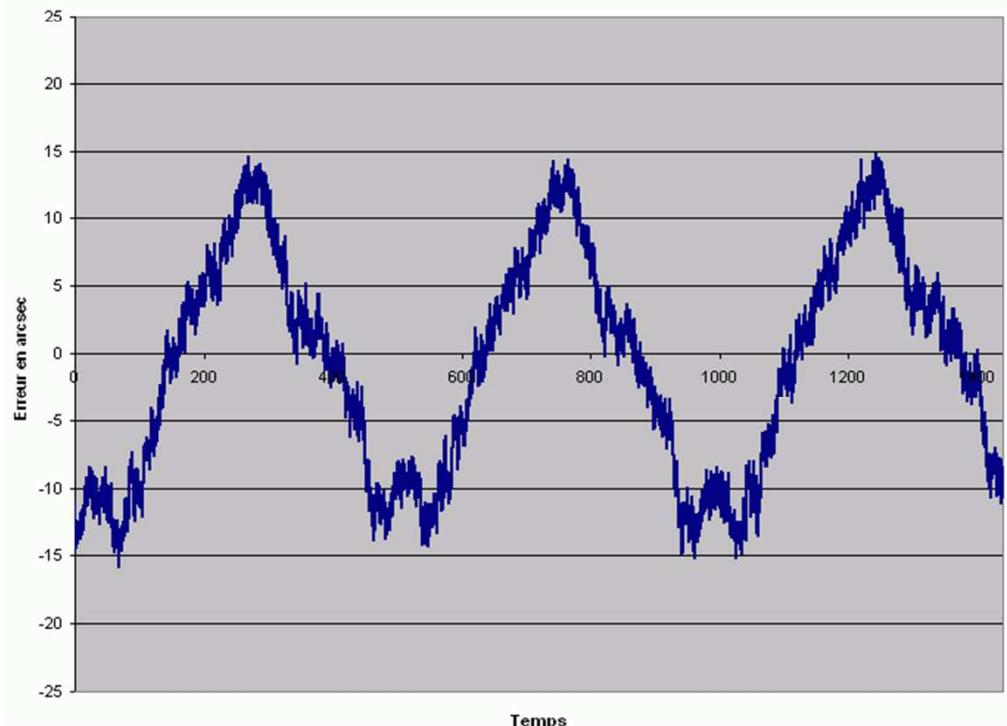
G42 +

Caractéristiques générales:

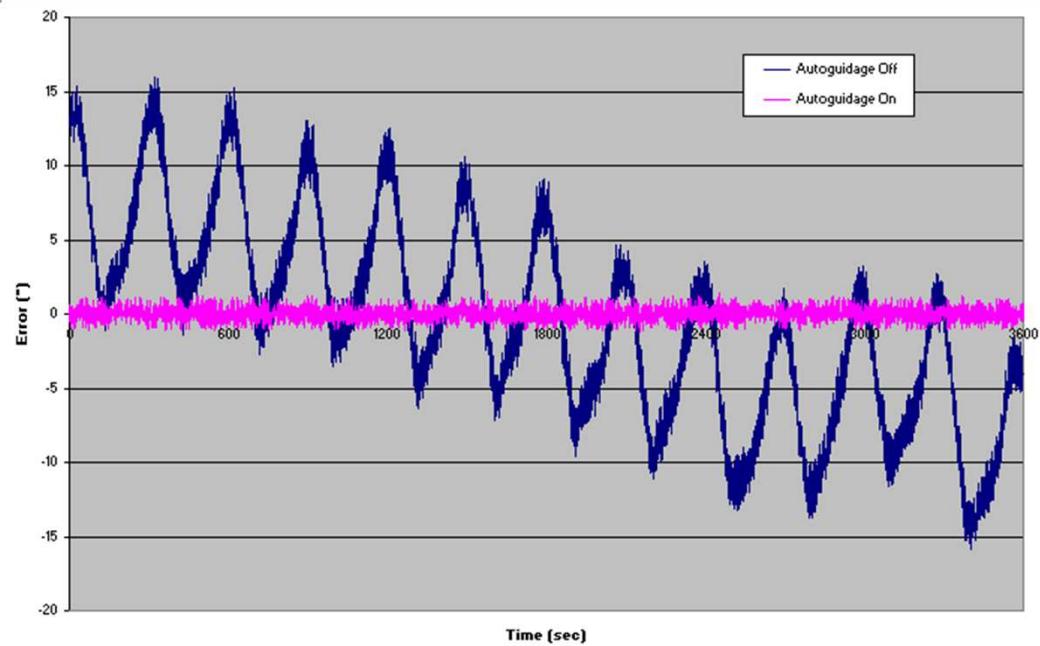
Rotation de la vis sans fin: 1 tour/ 8minutes

L'erreur périodique ..

8''LX200 (janvier 1997)



- Pas de contrôle usine et de qualification du système
- Résultats aléatoires (facteur chance)



TDM ?

- Coût supplémentaire non négligeable
- Limité à la vitesse théorique sidérale
- « Emplâtre » + usine à gaz



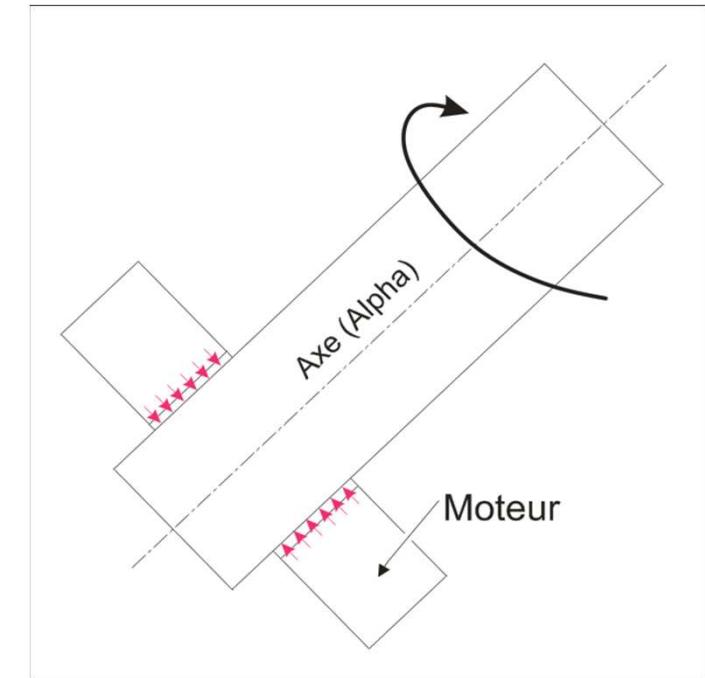
Télescope « friction drive »

- Efficace mais :
 - Glissements
 - Moteurs pas a pas ...
 - Encore des engrenages



Motorisation direct-drive

- Pas de mécanique
- Pas de vis, de pignons, pas de jeux... Elimination d'éléments mécaniques
- Transmission de la force par champ magnétique.
- Asservissement en **boucle fermée**



- Arrivée dans la fin des années 90
- Grâce à la :
 - La puissance de calcul en temps réel des processeurs.
 - L'augmentation de résolution des codeurs de position.
 - Direct-drive = pilotage direct sur l'axe

VLT : direct-drive sur les deux axes



Télescope de classe 2.5m

- Direct-drive sur les deux axes azimut et élévation
- Pilotage informatisé
- 35t de masse mobile
- Deux moteur en élévation



Direct-drive sur les télescopes classe 1m à 2m



Télescope 1.2 m

Pointage ultra-rapide
À 30°/Sec



PLANEWAVE CDK-700
Altaz-telescope



ASTELCO
NTM-500

**ALCOR
SYSTEM**



ASA

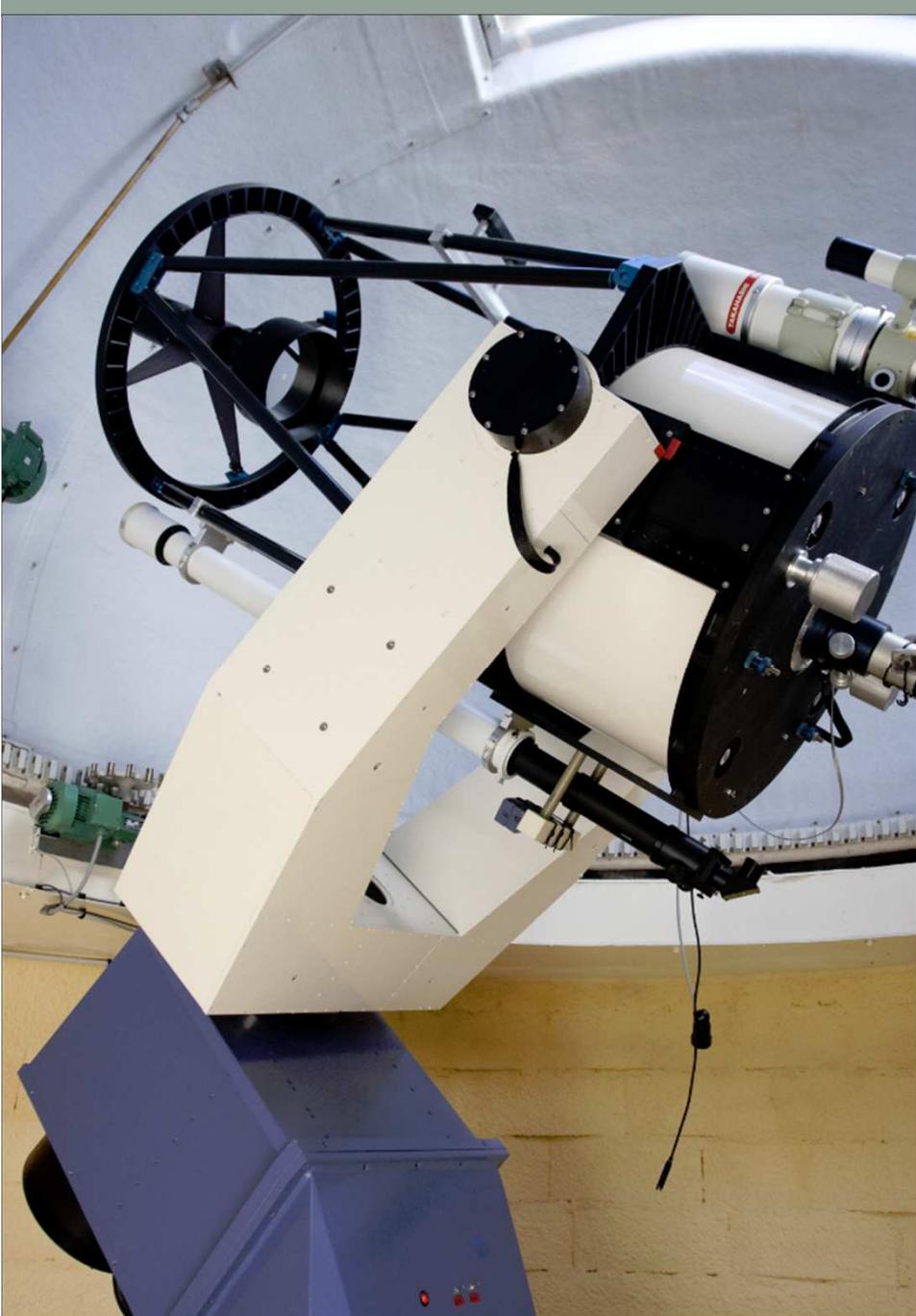
DDM-85



Sky Vision / Alcor-Sytem

NOVA 120

**ALCOR
SYSTEM**



Télescope 600 mm

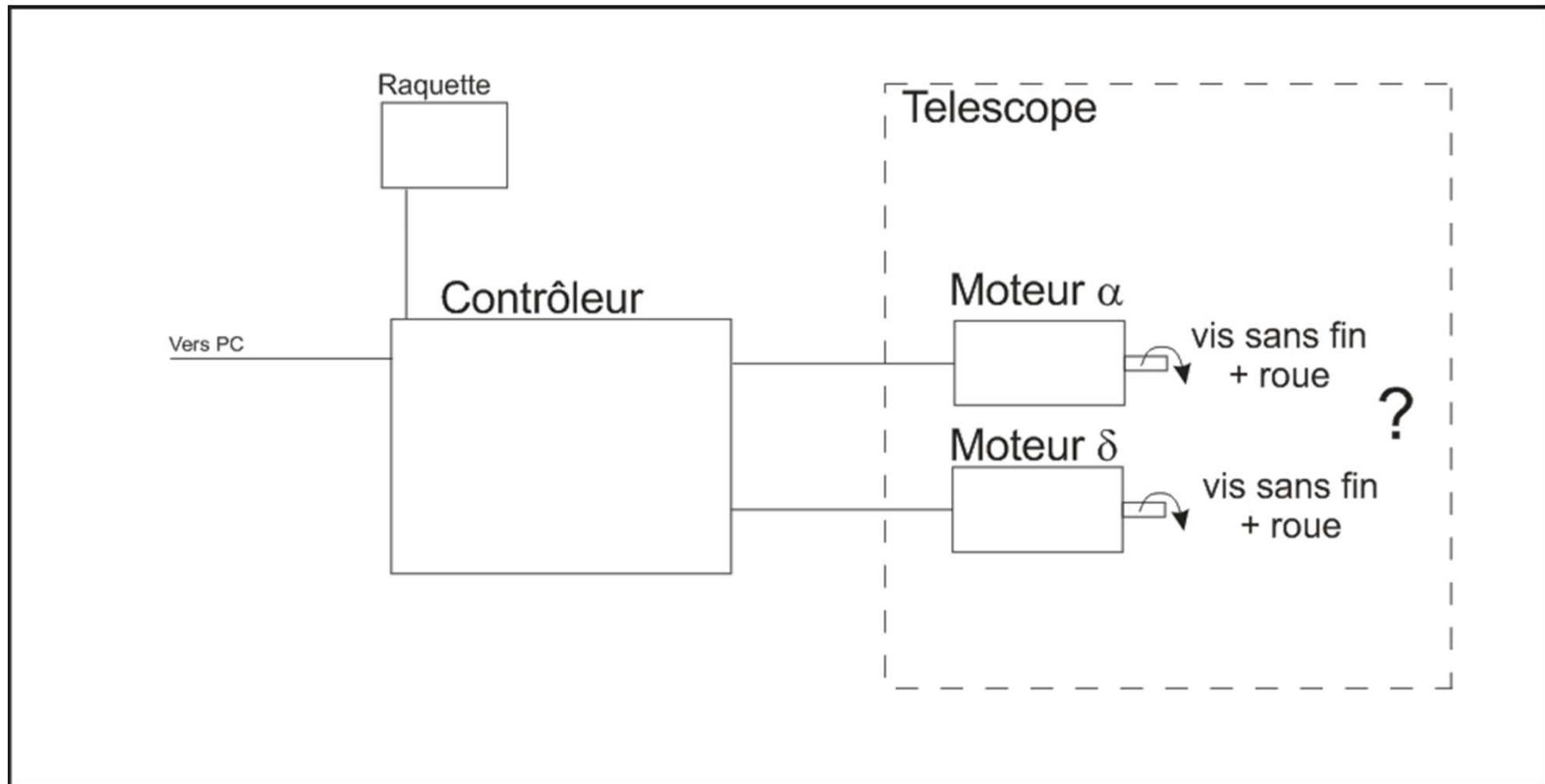
Monture fourche

Direct-drive sur les
deux axes par
ALCOR-SYSTEM

Les valeur ajoutées du Direct-Drive ?

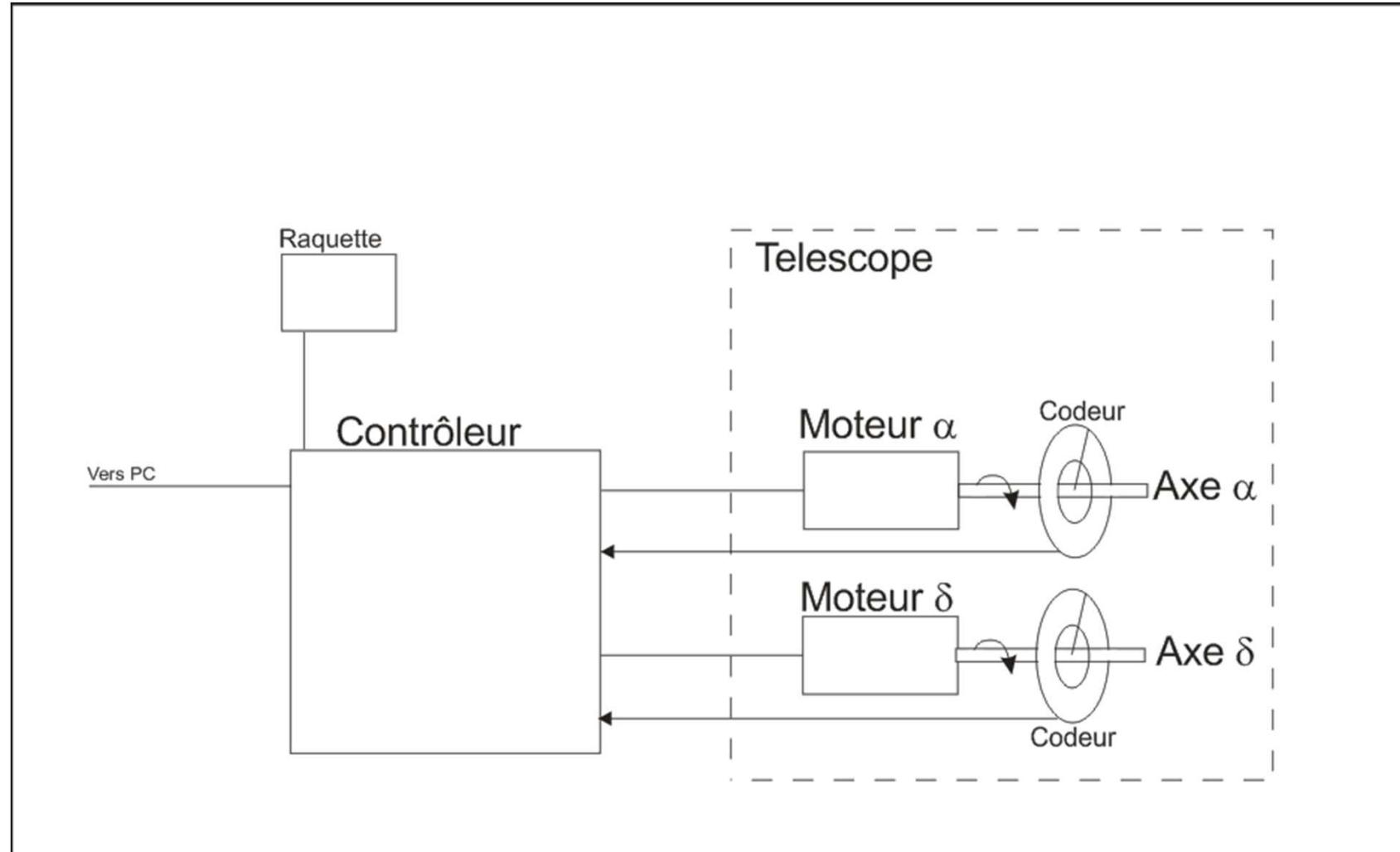
- Pointer un télescope précisément et rapidement
- Réaliser du suivi sidéral et des images sans guidage
- Simplifier la conception mécanique de l'entraînement.
- Faible consommation
- Zéro erreur périodique
- Grande dynamique de vitesse (100°/sec à 0.1"/h)
 - Pointage ultra rapide
 - Suivre des satellites
 - Suivre des objets se déplaçant lentement sur le ciel (<5" par heure)
 - Vitesses Alpha/delta variables en fonction du modèle de pointage et de la réfraction (vitesse de modèle).
- Boucle de contrôle fermée sur le codeur à 10 KHz

Système classique : boucle ouverte



- Boucle ouverte : ce qui se passe réellement en bout d'axe n'est pas connu.

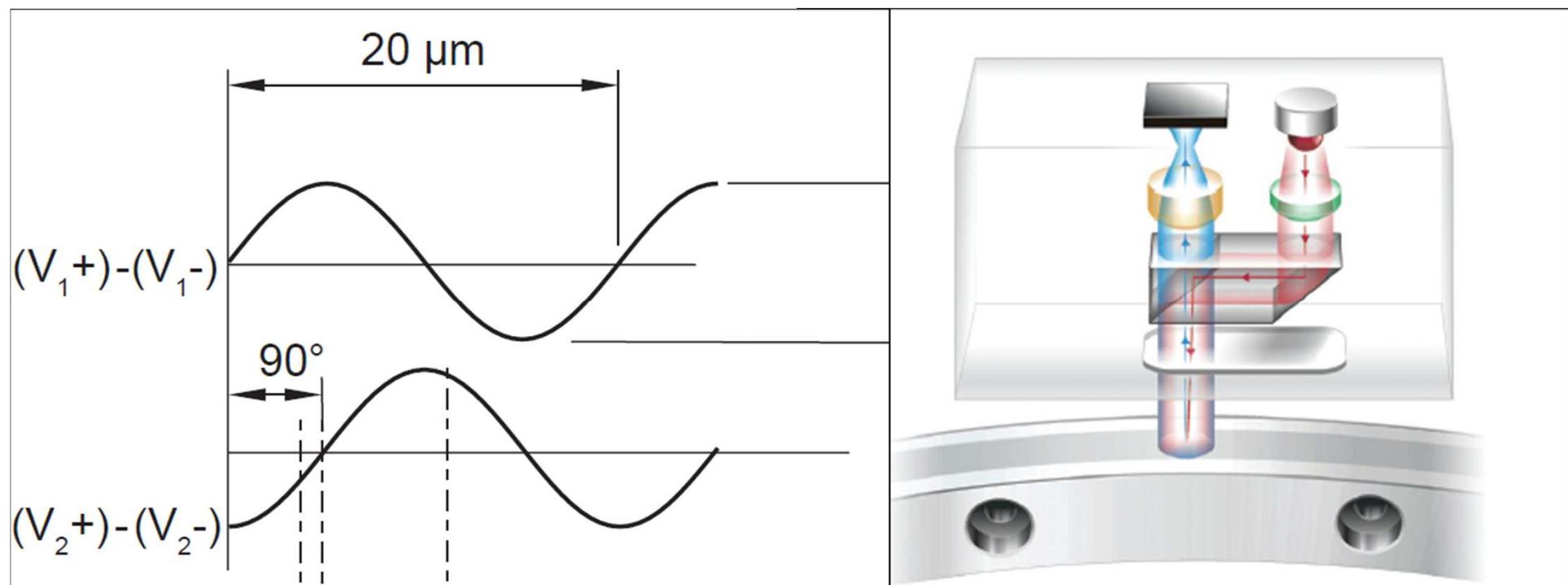
Système boucle fermée



- Boucle fermée : ce qui se passe en bout d'axe est connu grâce aux codeurs.

Les codeurs

- L'élément clef
 - Mesurer un angle de rotation très précisément
 - Un par axe
 - Ils sont optiques, (tête de lecture) sans contacts et interpolés.
 - Sortie Sin/Cos analogique puis numérisation dans un interpolateur compteur.
 - Marque de référence pour l'initialisation



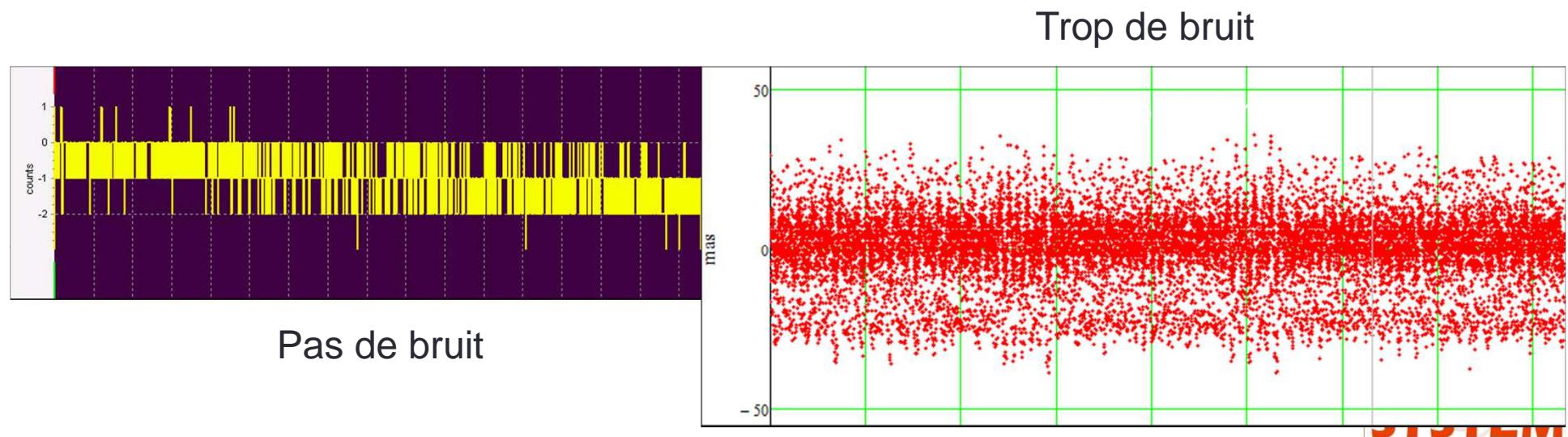
A quoi cela ressemble ?



- Monter un anneau, et une tête de lecture
- Positionnement de la tête de lecture avec
 - Un outillage livré et un indicateur d'état à LED

Les codeurs

- Anneau de Ø100 à 200 mm, interpolateur 10 bits
- Ex : Un anneau de Ø202.127mm possède 63500 marques de 20µm
- Interpolateur 10 bits = 63500×1024 65,3 millions de pas par tour
- Résolution de 0.0199" = ~ 20 mas (1/50 d'arc-sec)
- Attention :
 - Vitesse max de lecture (> dizaines de degrés par seconde)
 - Bruit des codeurs – doit être de 1 LSB, pas plus !
- Codage relatifs, semi-absolus et absolus



Le moteur

- « Brushless motor » / moteur couple
- Moteur 3 phases (AC)
- « Frameless torque motor »
 - Pas de balais
 - Moteur couple : fort couple à faible vitesse
 - Sans roulement
 - Faible inertie
 - Pas d'hystérésis, pas d'élasticité
 - Efficacité : pas de pertes due à la transmission mécanique.
 - Pas d'usure des pièces.
 - Pas de connexion mécanique entre le rotor et le stator.

A quoi cela ressemble ?

Stator : des bobinages de cuivre

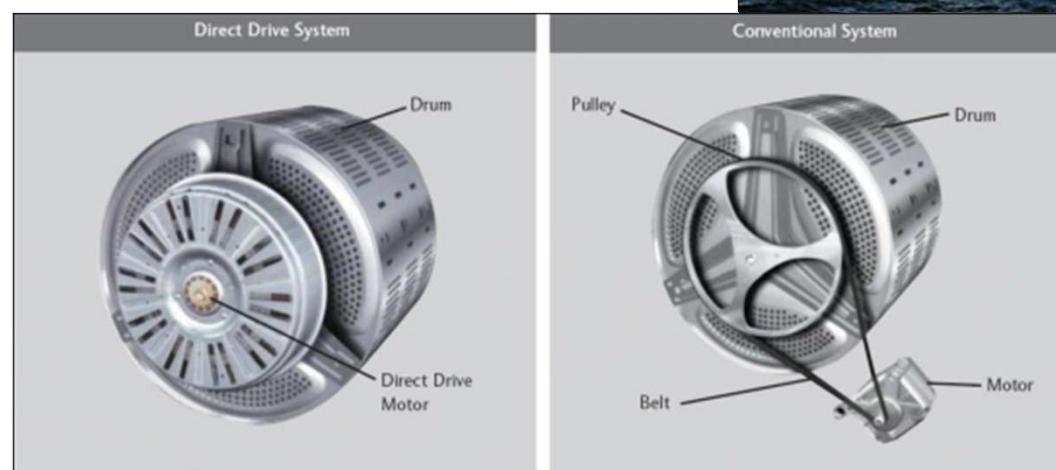
Rotor : que des aimants



A quoi cela ressemble ?

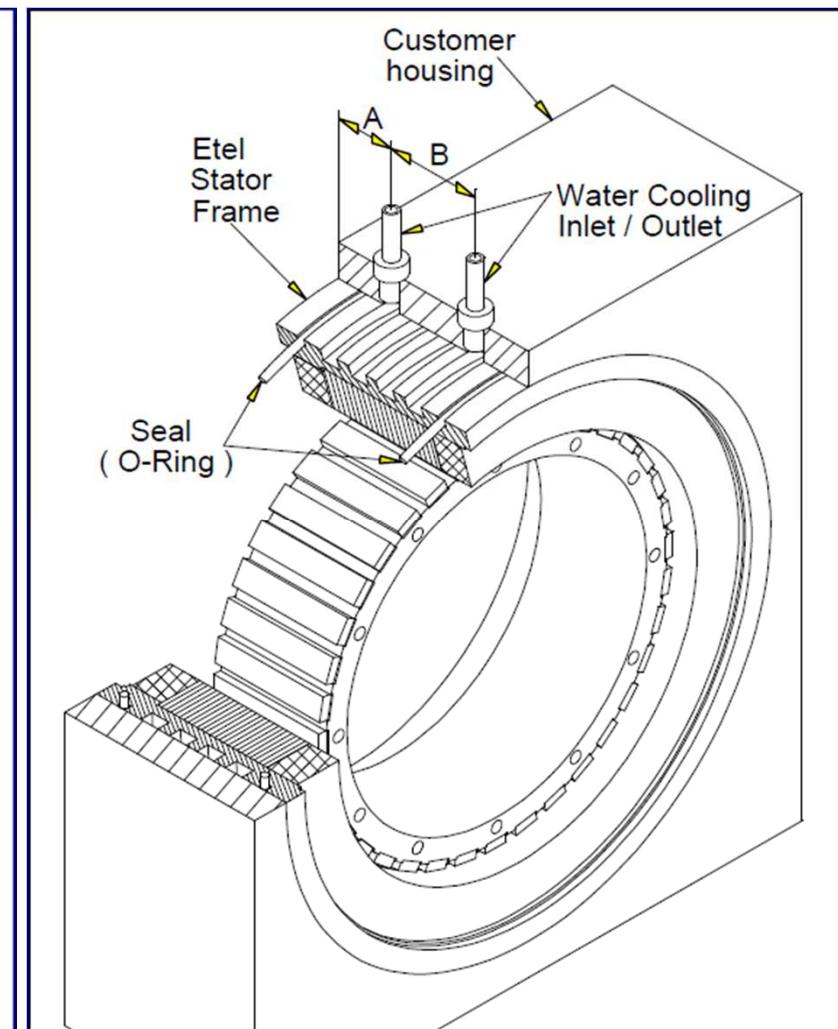


Applications des moteurs couples



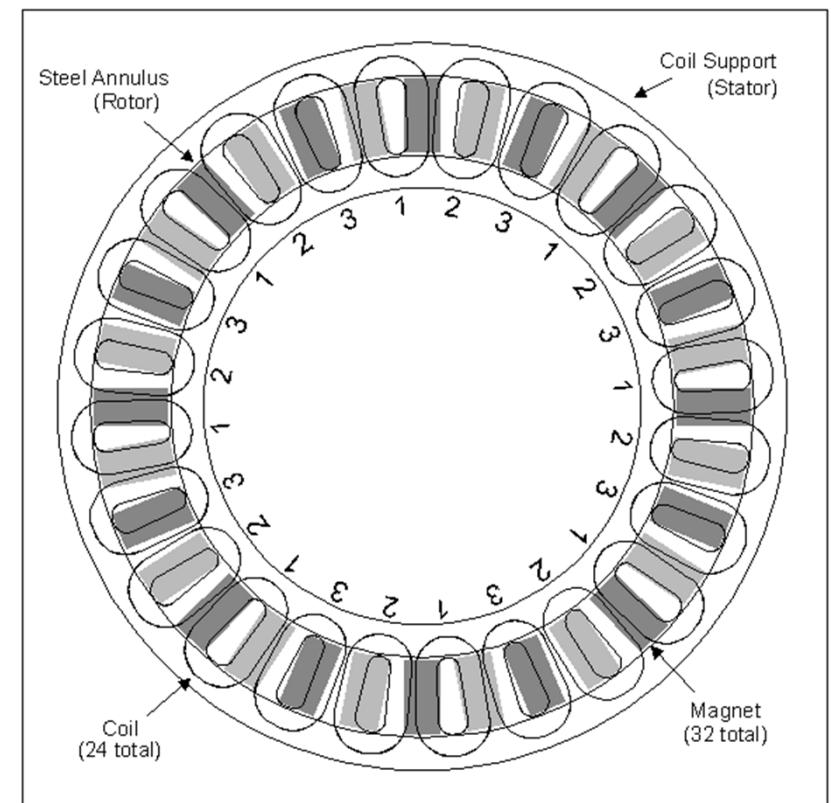
A quoi cela ressemble ?

Architecture axiale



Le moteur

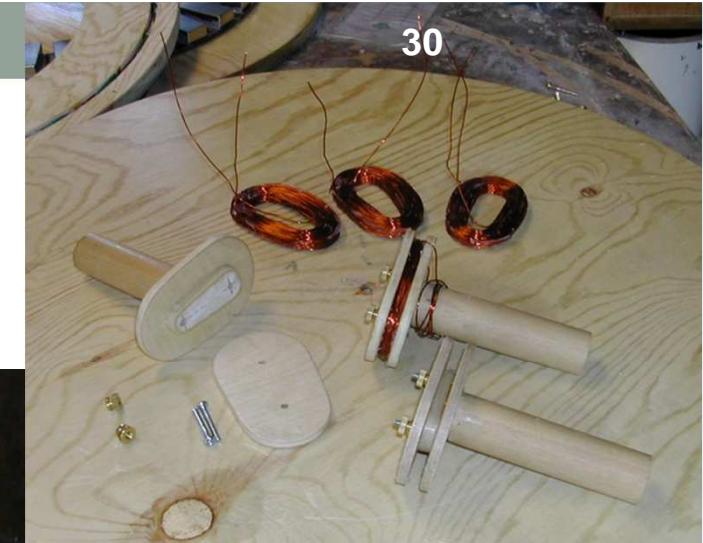
- Architecture radiale (aimants) ex CDK700
- Nombre de pôles = 16



Couple = 11 N.m

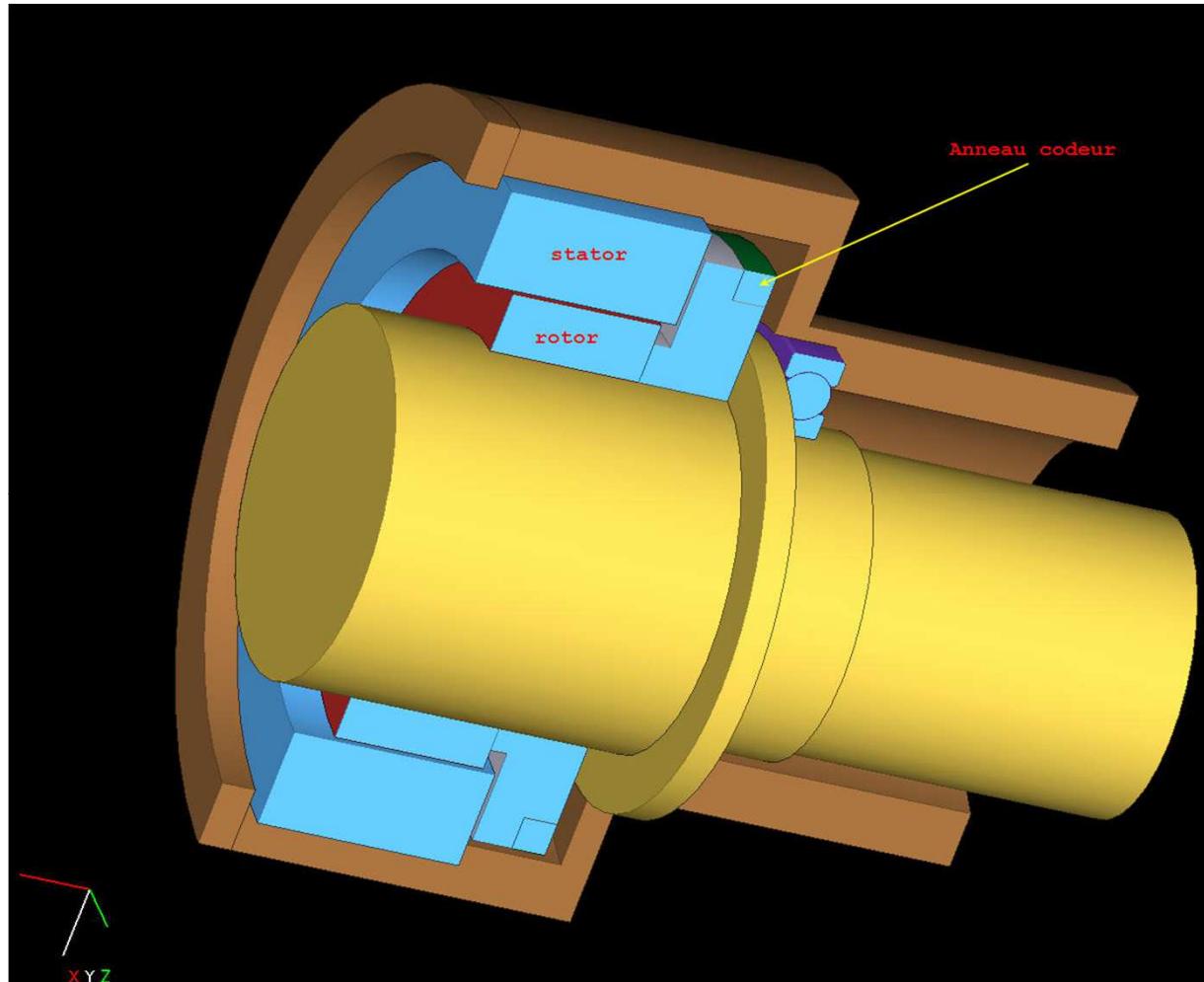
Le moteur

Architecture axiale (bobines)



Attention : couple faible !

Implémentation moteur-codeur



- Rotor
- Stator
- Codeurs

Moins de pièces
mécaniques

Attention : axe libre, un dispositif de freinage est souhaitable

Dimensionner le moteur

(à première approximation)

$$\dot{w} = \frac{\text{Couple} - \text{Frottements}}{I}$$

- \dot{w} : accélération angulaire en rad/s²
- w : vitesse en rad/s
- Couple : moteur en N.m
- Frottements : système en N.m
- I : Moment d'inertie (kg.m²) autour de l'axe
(distance d'une masse au carré / à un axe)

Ex : Moteur 10 N.m

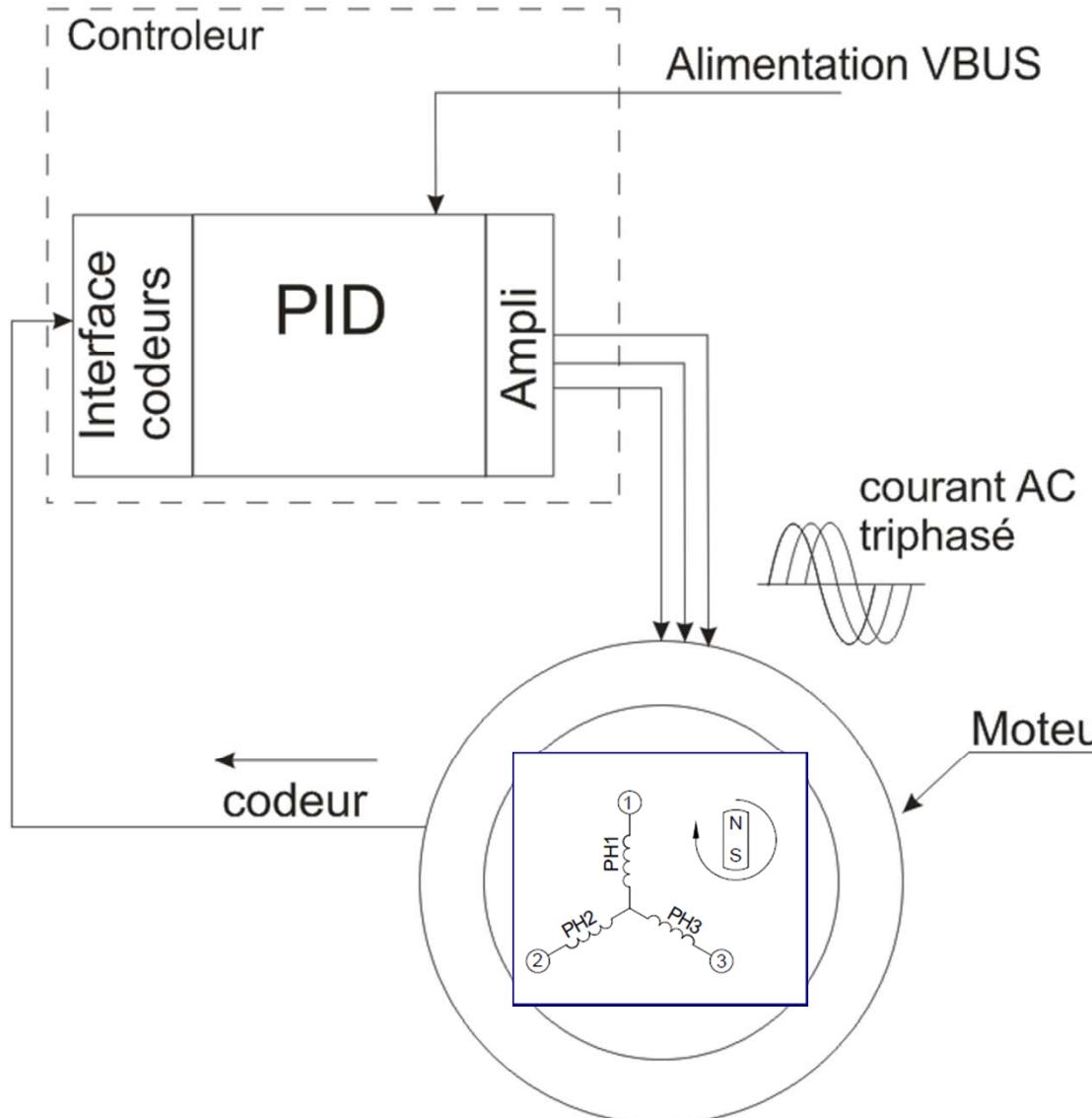
I : 40 kg.m²

F : 0.3 N.m

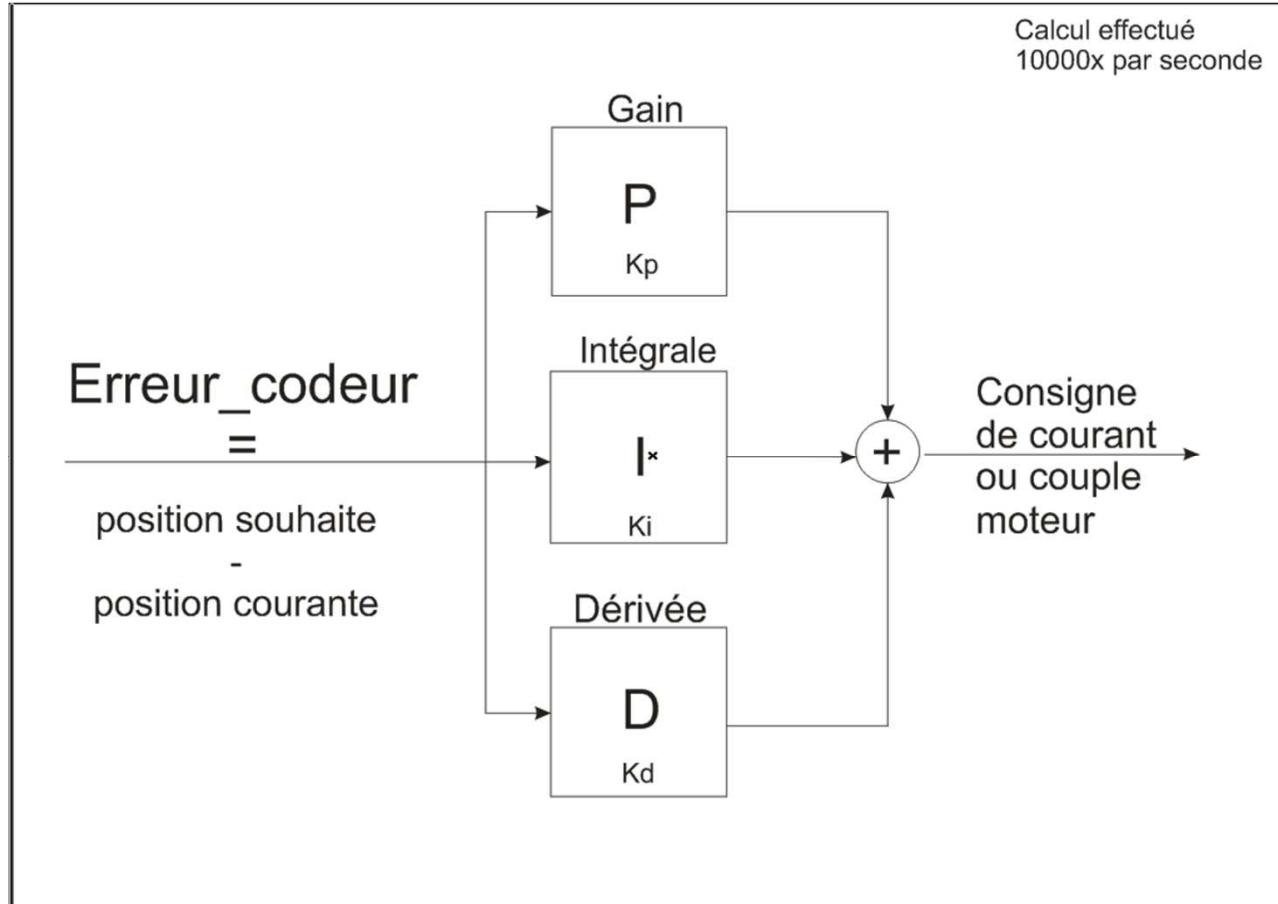
$\dot{w} = 13.8^\circ / s^2$ soit une vitesse de $13.8^\circ/s$ après 1s au démarrage

Attention : couple trop faible = pas de rigidité de l'axe, pas de marge

Le contrôleur moteur/codeur



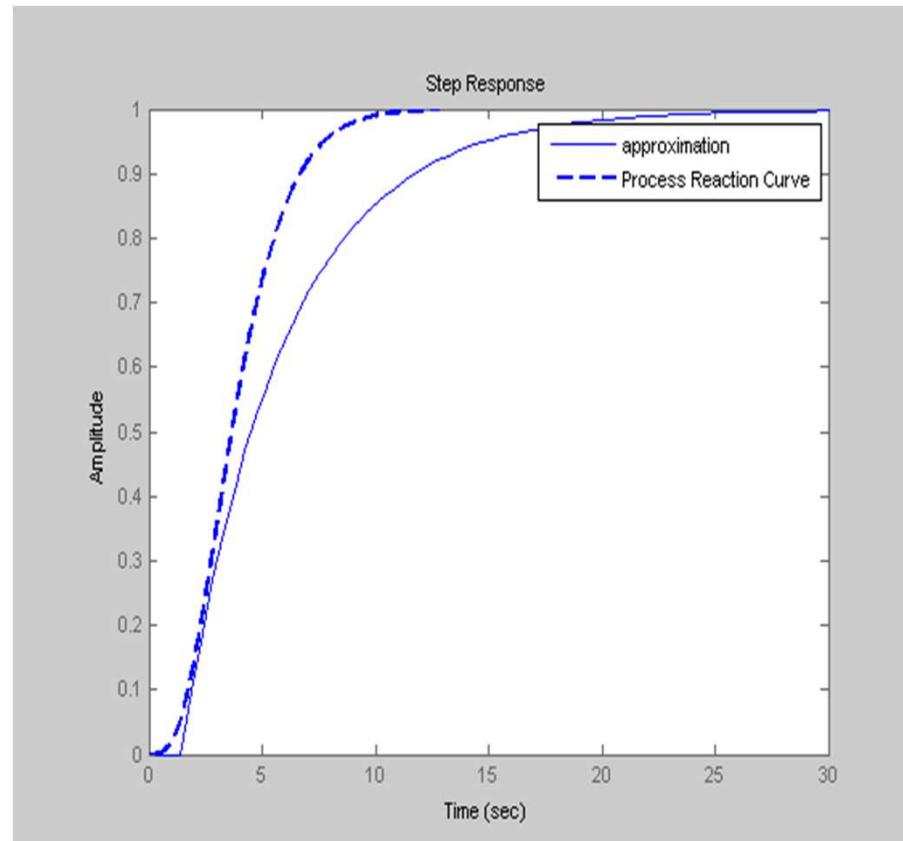
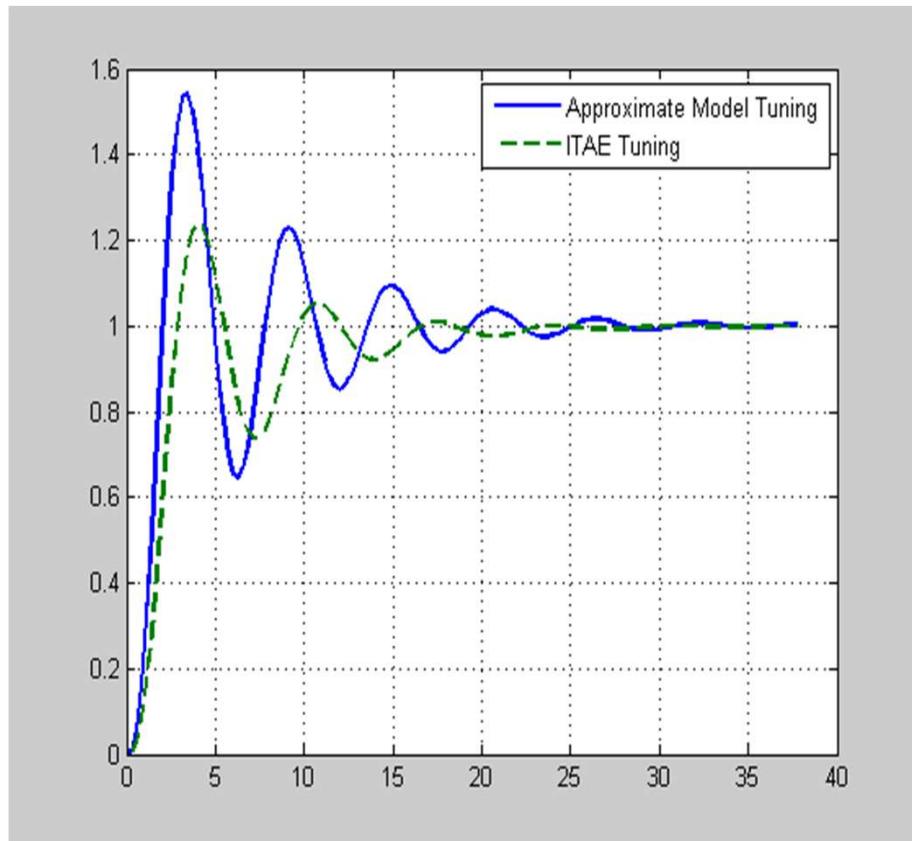
Asservissement de trajectoire avec P.I.D en boucle fermée



- Réglages des paramètres de PID peuvent dépendre:
 - De la vitesse
 - De la charge sur le télescope.
 - Détermine la stabilité du système

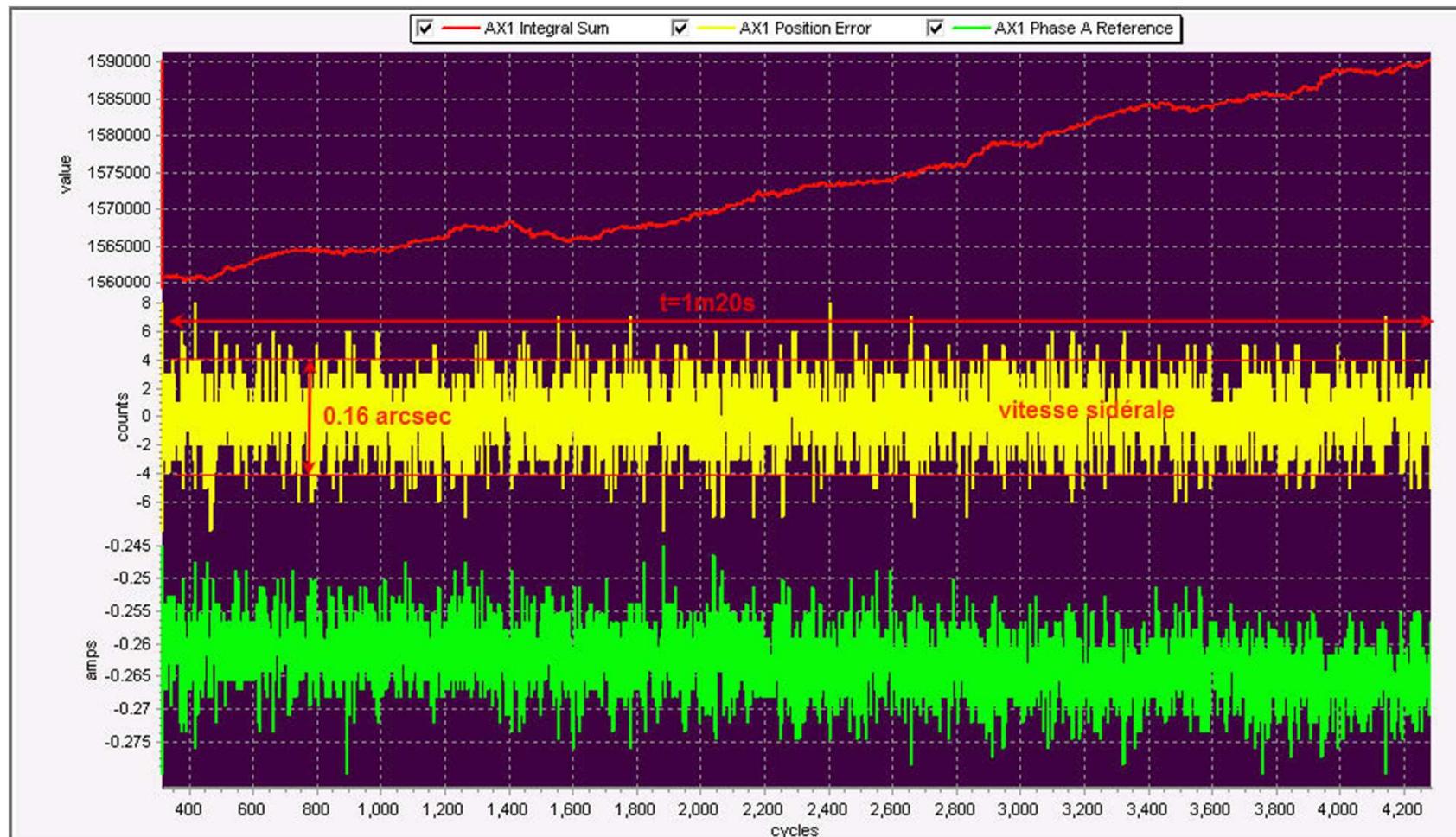
$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

Asservissement de trajectoire avec PID en boucle fermée



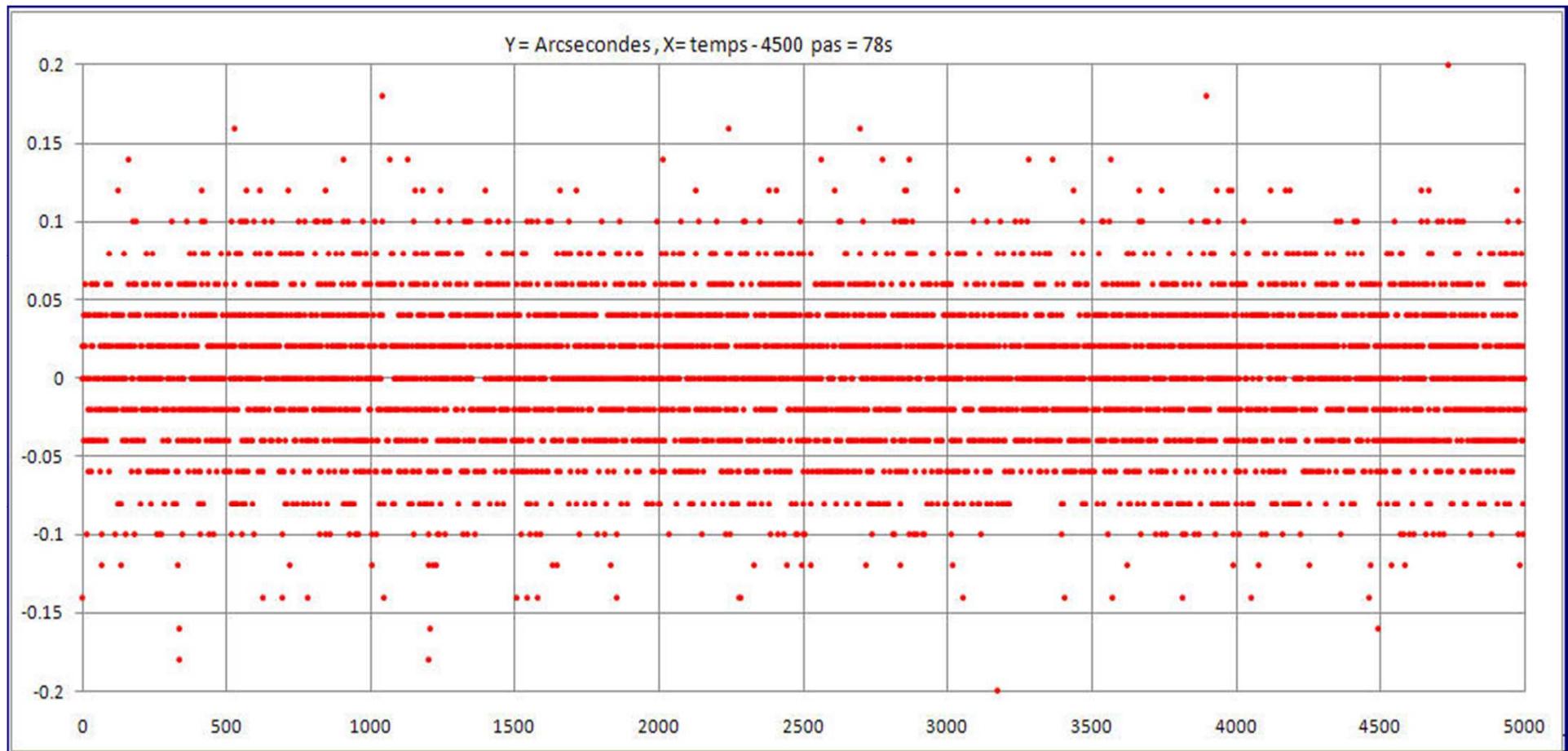
- On cherche : Un asservissement stable, rapide, réactif et robuste aux perturbations externes
- On évite : Oscillations, axe « mou » ou bruyant
- Outils de diagnostic (diagramme de Bode)

Résultat de réglage de PID



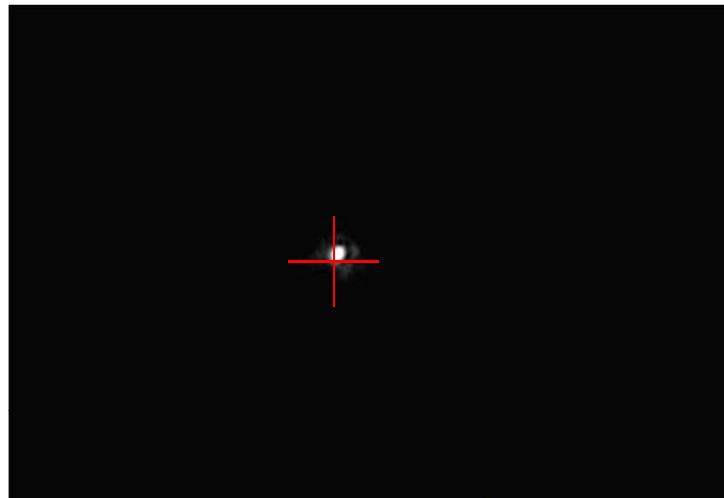
- Stable, précis sur les codeurs
- Consommation : moins de 5W par axe (télescope équilibré)

Réglage du PID : vitesse sidérale



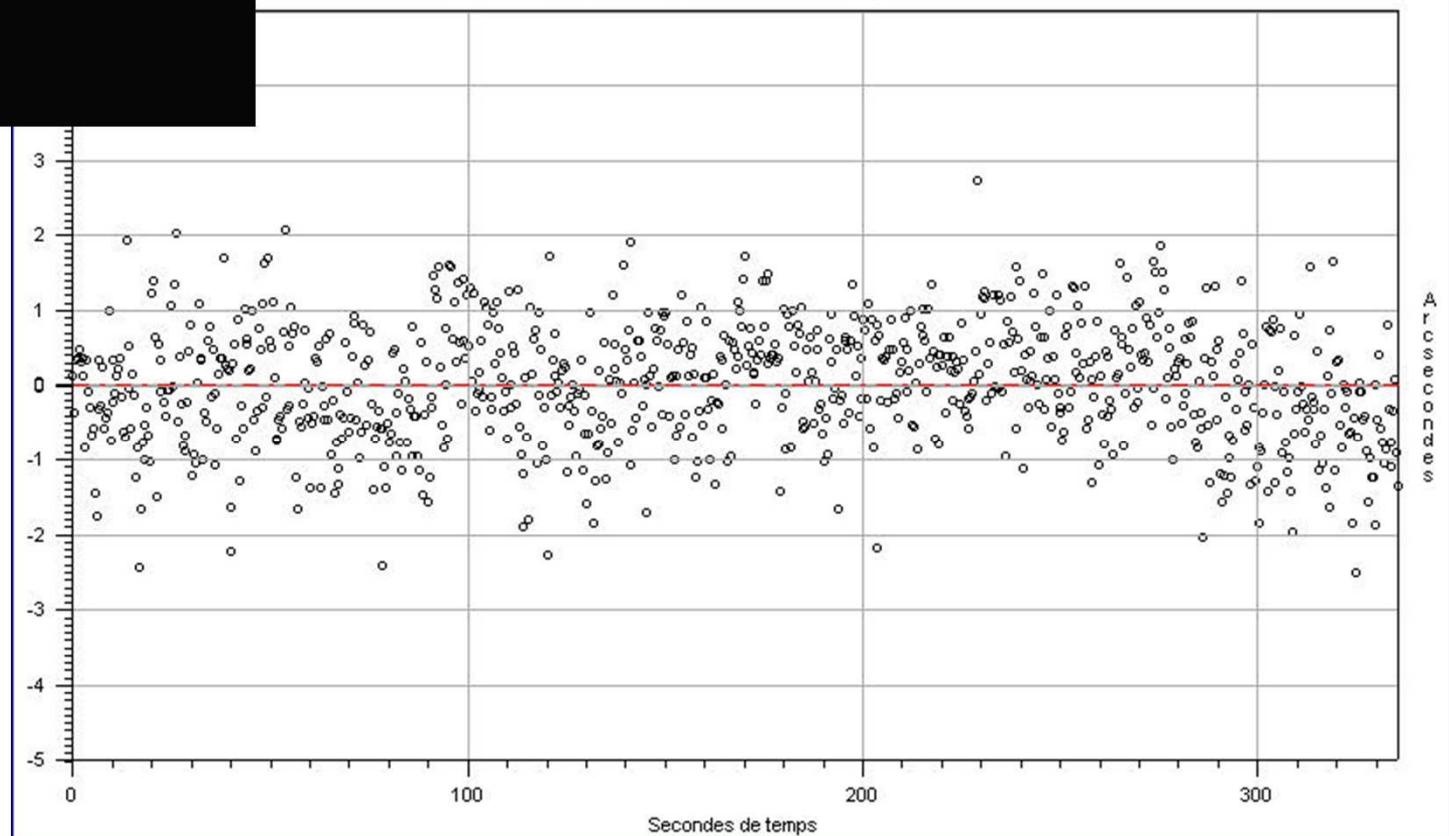
- Erreur de 0.12" RMS avec vitesse sidérale

Tests sur le ciel



- Mesure de la position d'une étoile à l'équateur céleste, 10 images/sec
- Camera DMK + PRISM
- Focale de 5 mètres
- « Tip-tilt » du à la turbulence

...s H\Wdirectdrives\Tests_sur_le_ciel\05_Mars_10_Barlow3x\arcturus2_alpha.txt



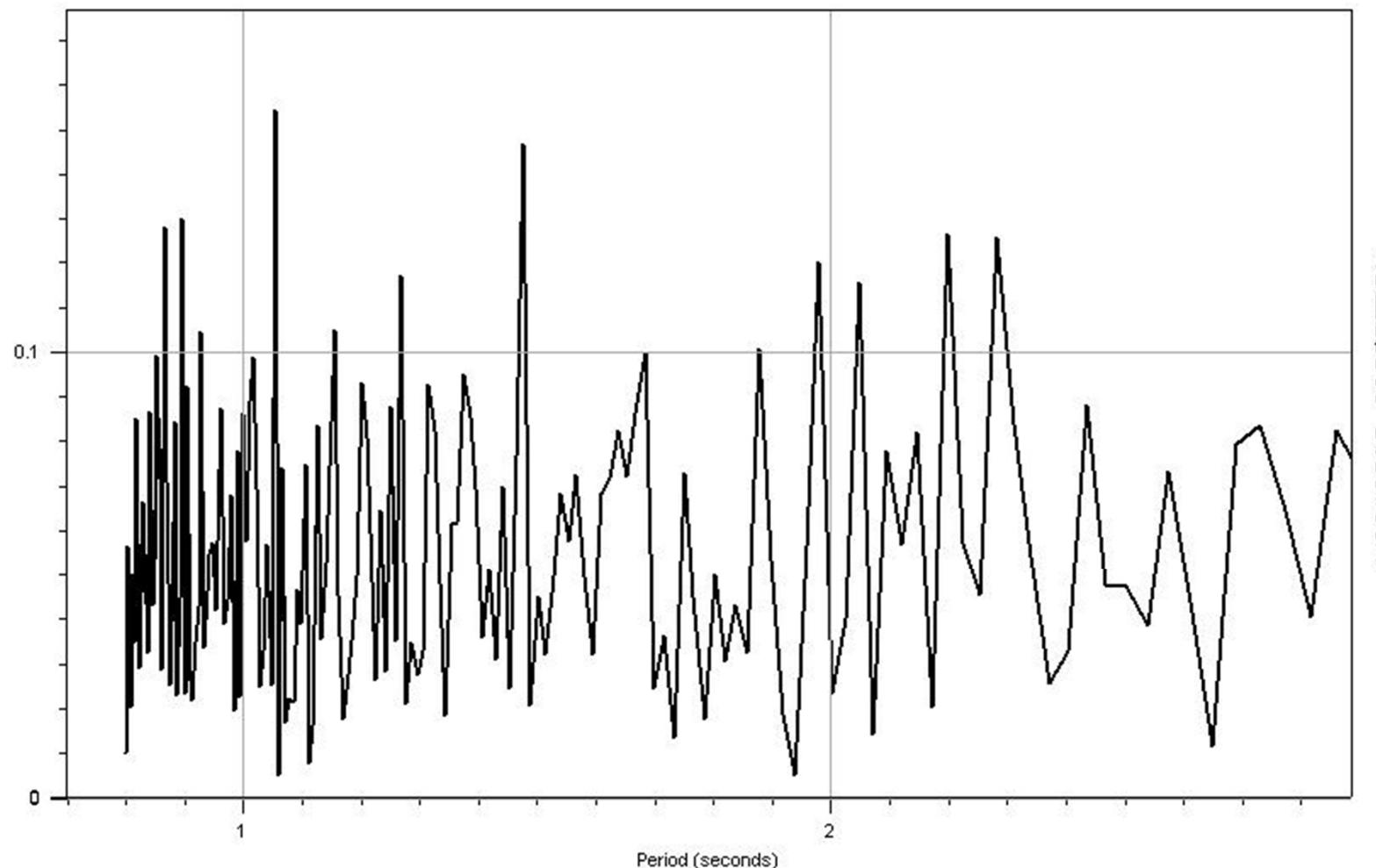
RESULTATS

- Zéro Erreur périodique
- Pas d'oscillations

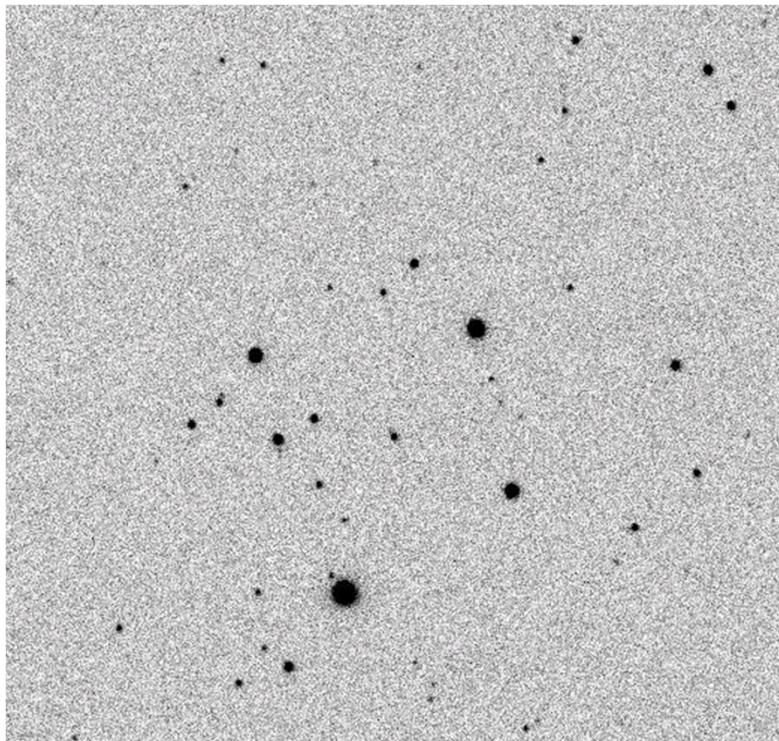
Tests sur le ciel

- Analyse spectrale par FFT pour trouver des pics d'oscillation
- Ici rien n'est visible, donc pas d'oscillations basse fréquence

Spectral Intensity (FFT) E:\Projets\Motorisations HW\directdrives\Tests_sur_le_ciel\05_Mars_10_Barlow3\xarcturus2_alpha.txt



Suivi sans guidage sur longue pose



Netteté

Nbre d'étoiles	219	Seeing	2.53 "		
	Median	Moyenne	Rms	Min	Max
FWHM	2.98	2.96	0.34	1.76	4.09
Angle (°)	-72	-40	60	-90	89
Elongation	16.4 %	22.4 %	18.0 %	0.8 %	113.0 %

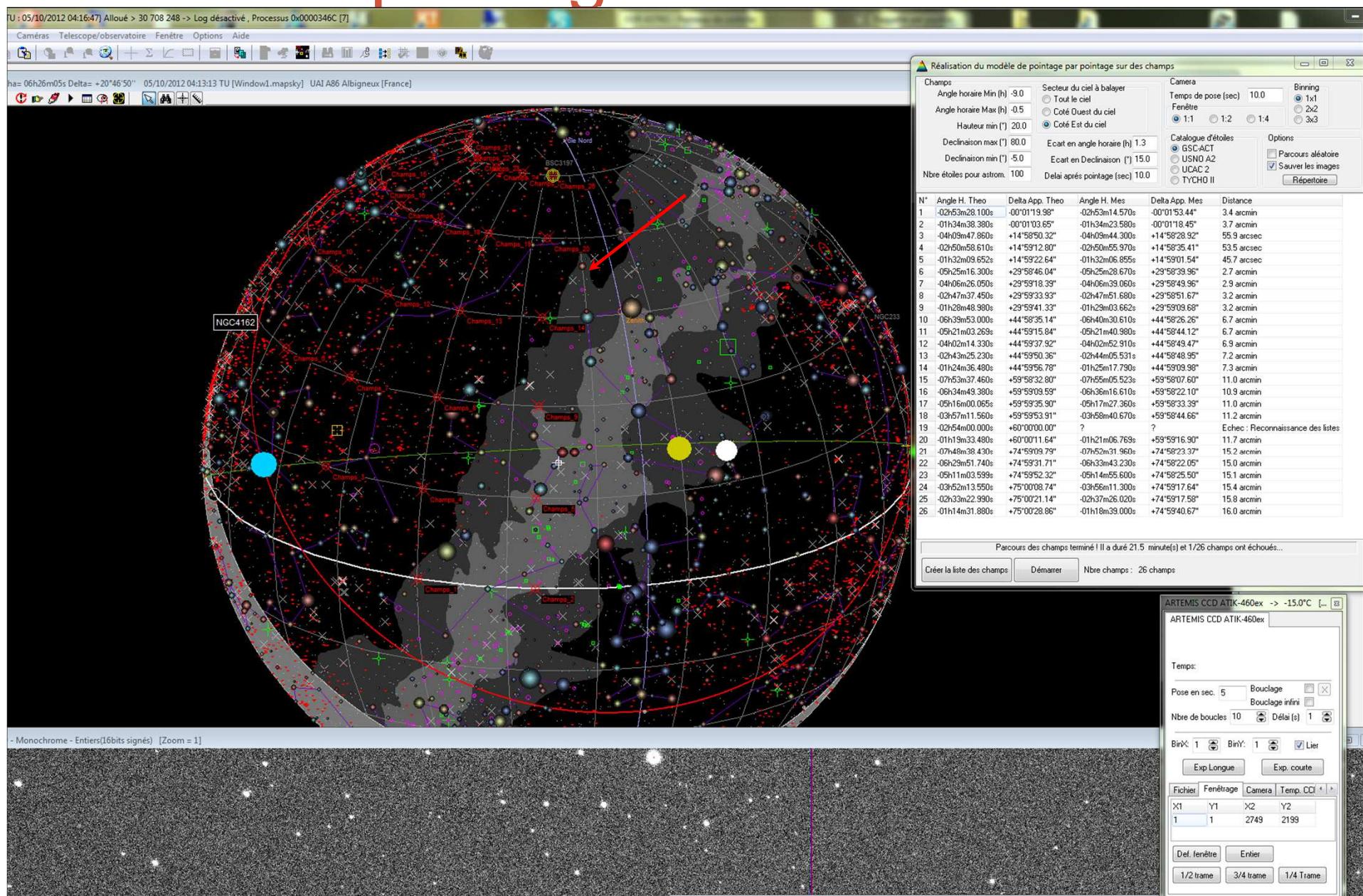
* Unité = pixel

OK

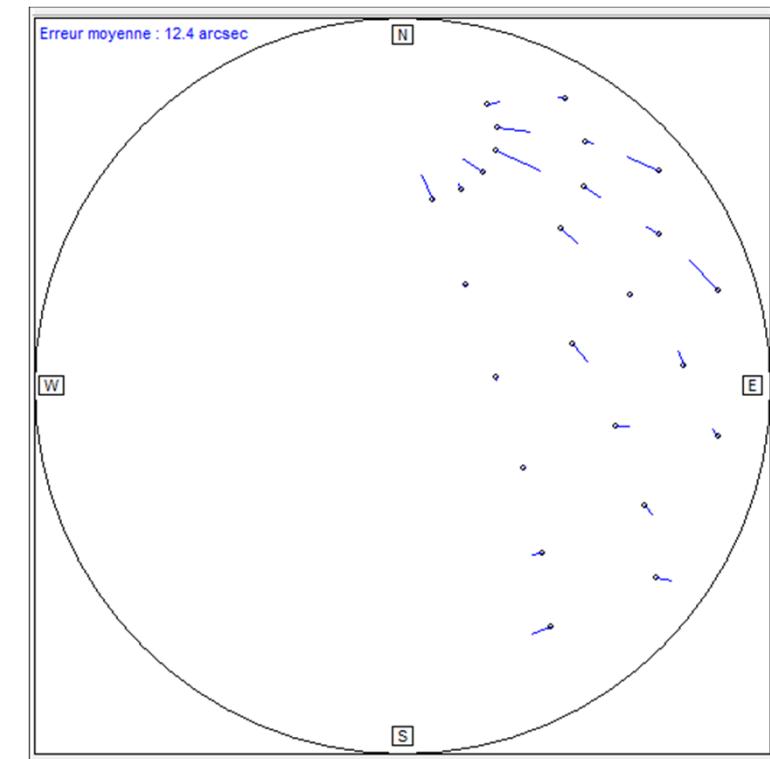
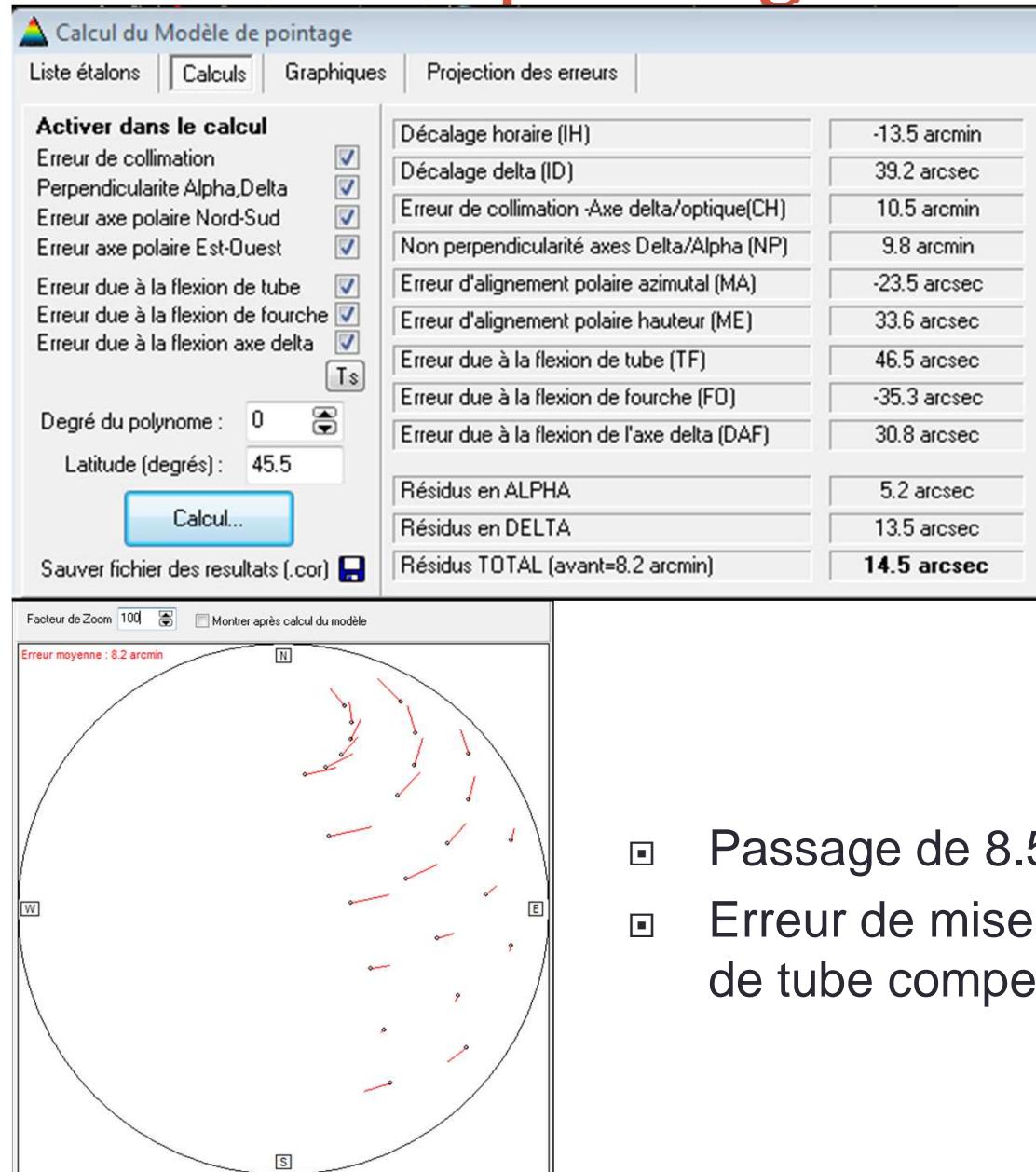
- Focale de 1800mm, pixel de 7.4µm
- Echelle de 0.9" par pixem
- Poses de 600s
- Suivi SANS guidage
- Attention
 - Mise en station soignée
 - Pas de flexions de l'optique dans le tube
 - Réglage vitesse sidérale
- Elongation faible (avec seeing de 2.5")

« Ca marche ! »

Modèle de pointage



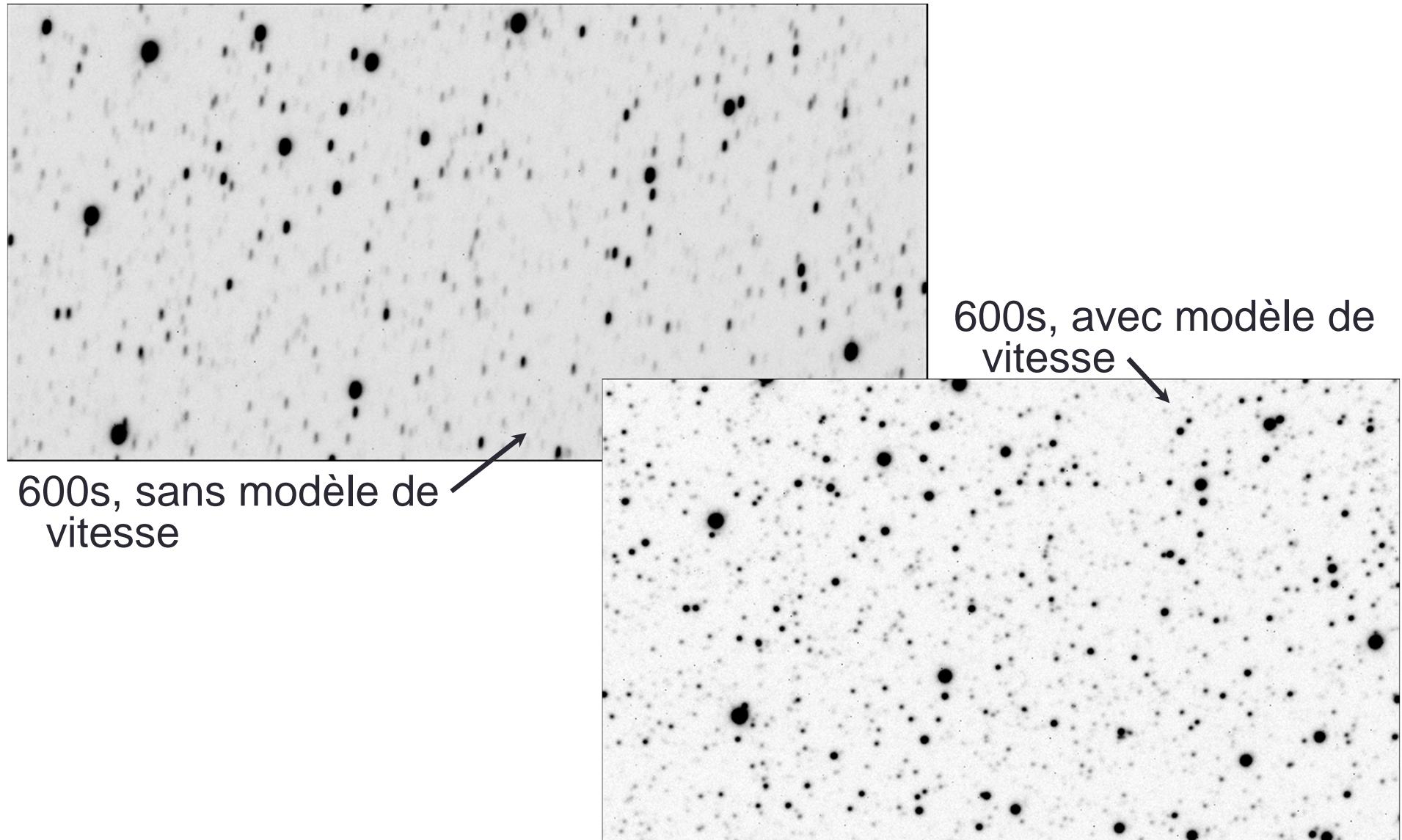
Modèle de pointage



- Passage de 8.5' à 12" rms d'erreur
- Erreurs de mise en station et de flexion de tube compensées au premier ordre.

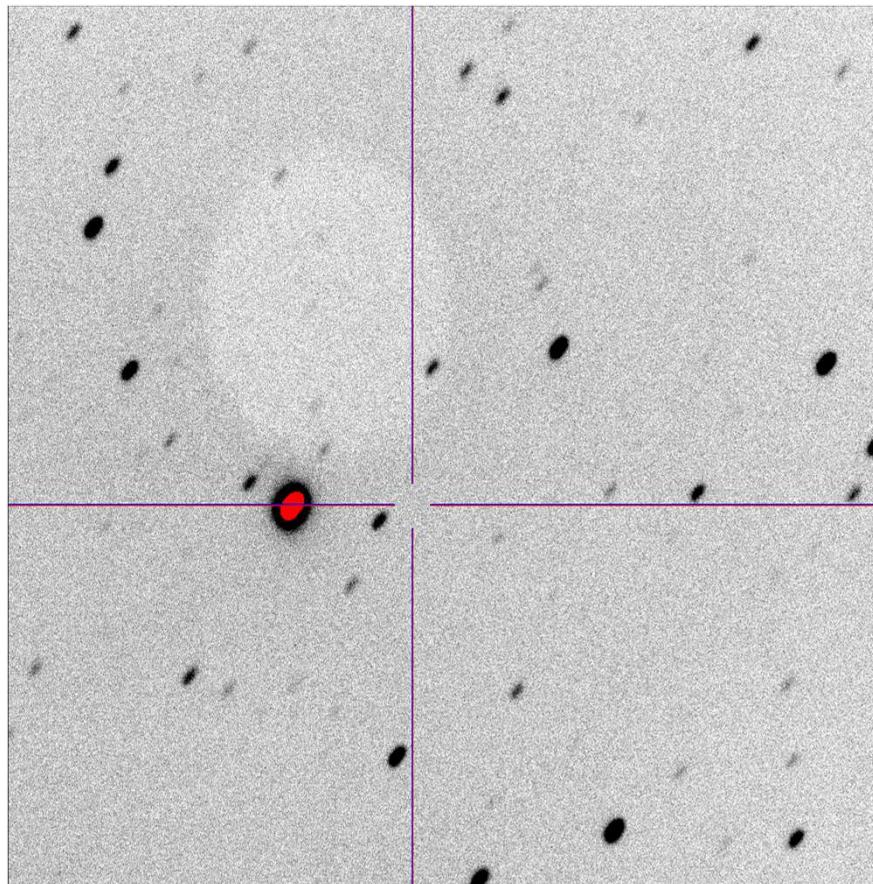
Modèle de vitesse

- Calculé à partir du modèle de pointage

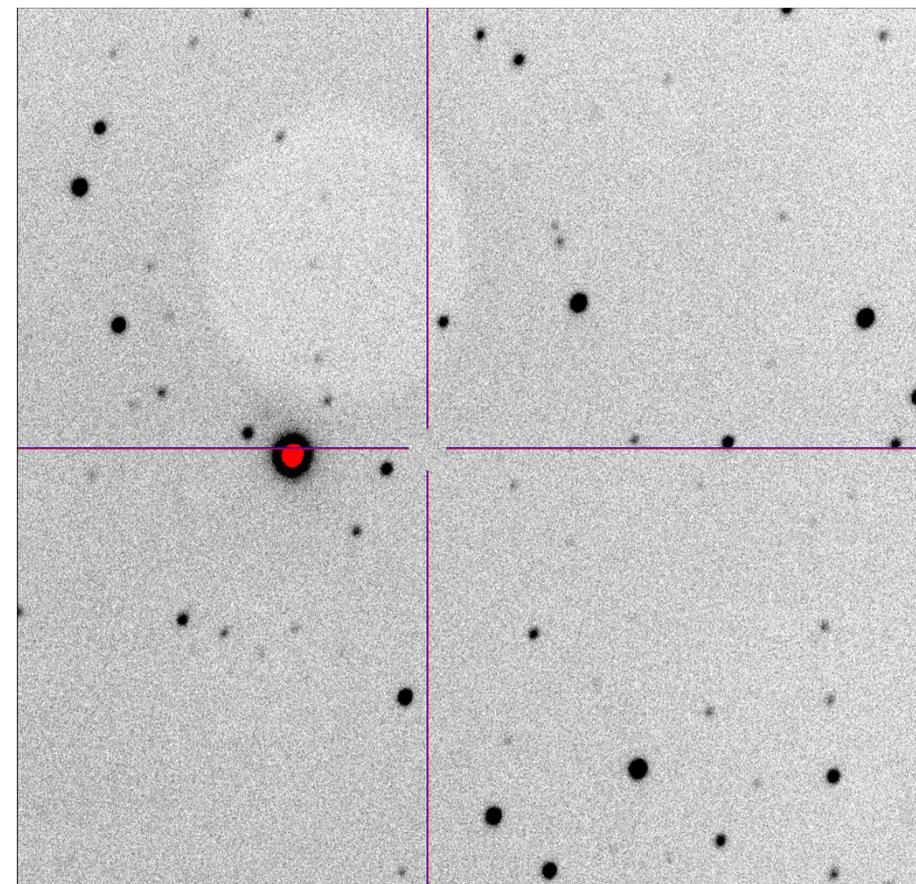


Correction de vitesse (réfraction)

- A +10° au dessus de l'horizon



Sans compensation de réfraction

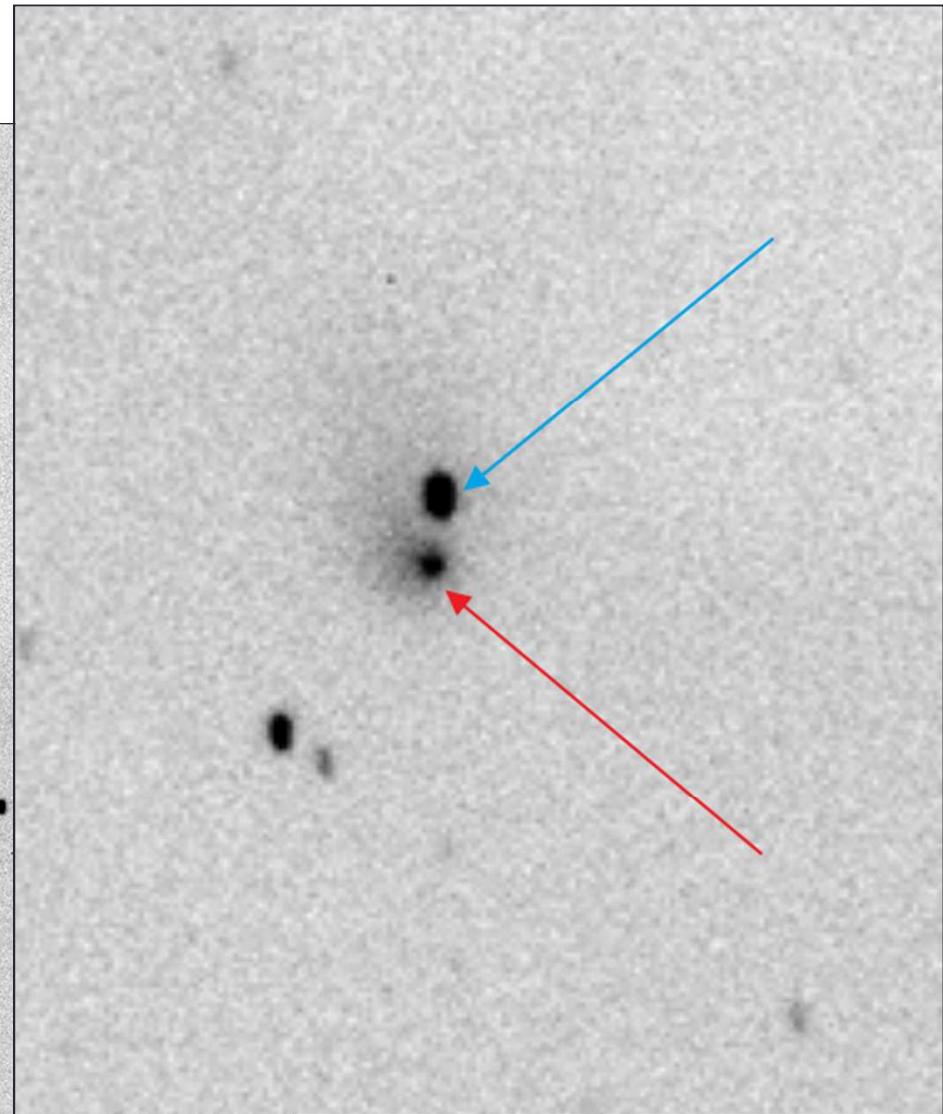
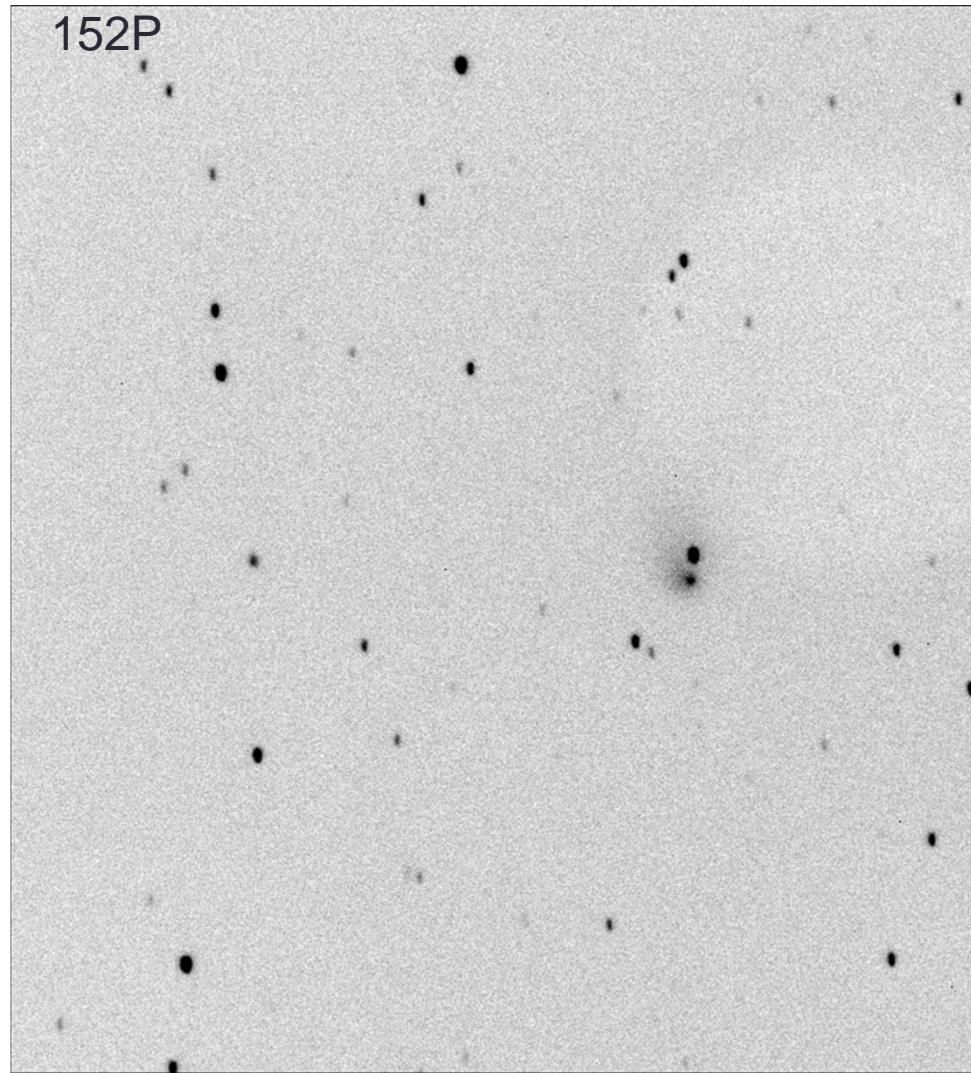


Avec compensation de réfraction

Objets mobiles

Comète

152P



Pilotage de la monture

DDR ASTRO - Panneau de contrôle [1.0.7 28/10/2013]

Configuration Déconnecter Options Quitter A propos

Etat système
Alpha Connecté Axe mode "suivi"
Delta Connecté Axe mode "suivi"

Equinoxe 2000 Er. Pos.
ALPHA (app.) 23h58m38.226s -0.03"
DELTA (app.) +135°38'09.78" -0.03"
Angle HOR. +00h19m29.330s

AZIMUT +536°31'09.61"
 HAUTEUR -00°03'15.27"

Erreurs totale 0.03"

Vitesse ALPHA (app.) -14.9" / sec 49 mW
 Vitesse DELTA (app.) 0.0" / sec 75 mW

Etat système : En cours de suivi sidéral [Tube Est]
 Modèle de pointage inactif

ASCOM Standards for Astronomy

Coordonnées de pointage Eq 2000.0 Apparent
 Alpha = 00 h 00 m 00.000 s
 Delta = 00 ° 00 ' 00.000 " N
 ALLER!

Offsets
 Direction ALPHA 0
 Direction DELTA 0
 Unités : degrés, minutes, secondes
 STOPPER LE POINTAGE

N
 E O
 S

Vitesse Parking Angle hor. (h) 1.00 DEC (°) -10.00
 Parker la monture

Calibrer sur une position Cal.
 Trouver la position
 Calibration codeurs abs. OK

Vitesse : 0.7 "/sec

Arrêt suivi sidéral

Vecteur vitesse différentielle
 Prédéfini
 Aucune
 Vitesse lunaire
 Vitesse solaire
 Vitesse utilisateur
 Vitesse comète/astéroïde

Vitesse différentielle (arcsec/h)
 Direction ALPHA 0

File Edit Display Orientation Input Tools Telescope Help

Look North Look East Look South Look West Look Up
 Move Up Move Down Move Left Move Right
 Zoom In Zoom Out 100° x 100°

Computer Clock 11:14:11 pm November/04/2013
 ASCOM Telescope Driver
 Start Up Tools Shut Down

Telescope
 Find click position Center Cross Hairs
 Set Track Rates Add Pointing Sample
 Search for: Find

theskyX astronomy software
 SB SOFTWARE BISQUE
 COPYRIGHT 2012 SOFTWARE BISQUE, INC.
 ALL RIGHTS RESERVED

TheSkyX is starting, please wait...
 Registering classic COM interfaces...

TPoint: No pointing data

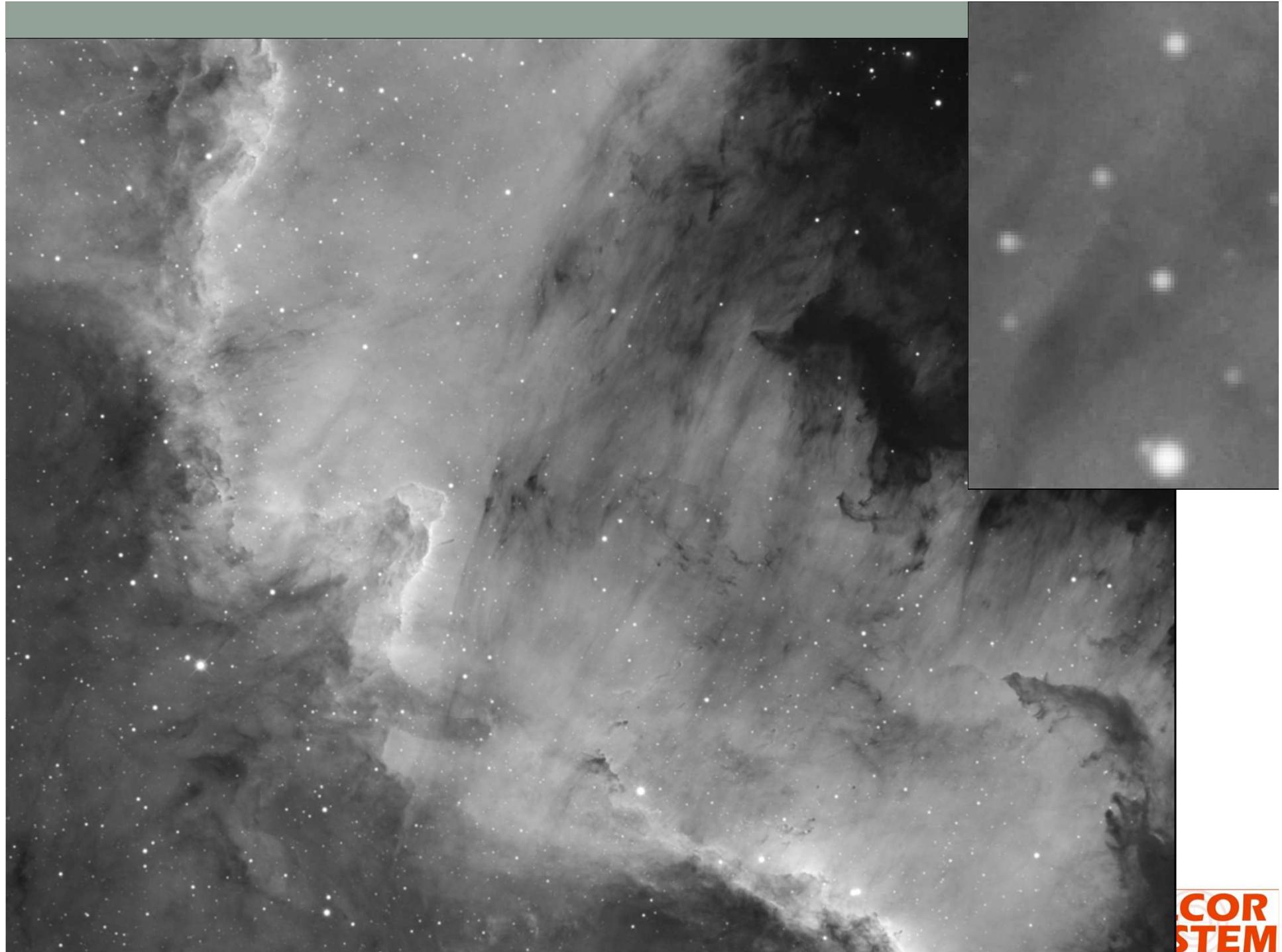
PRISM



Quelques résultats

- Monture direct-drive N120
 - A distance (sans personne)
 - T400 F3.5
 - **Pas de caméra de guidage**
 - Atik 383L+ / roue a filtre
 - Dans le Sud de la France
 - Poses individuelles de 5, 8 ou 10 minutes.
 - Poses cumulées de plusieurs heures reparties sur plusieurs nuits.
 - Opéré a distance (300km)





COR
STEM

Conclusion

- Concept validé et performant
- Plus de roue, vis et pignons : pas de jeux, ni d'erreurs de taille
- Suivi parfait
- Possibilités de suivi différentiel :
 - Modèle de pointage, objets se déplaçant lentement, vitesse de modèle de pointage, compensation de la réfraction
- Va sans doute se généraliser
- Cout ?
 - Pour un télescope ≥ 500 mm pas plus qu'un système roue et vis.
 - Pour des télescope < 500 mm, les couts sont plus important qu'un système classique vis sans fin/roue

MERCI de votre attention

Des questions ?