

nterféromètre optique Amateur, premier ré

ager de faire de l'interférométrie en astronom



Uranoscope de l'Ile de France



AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



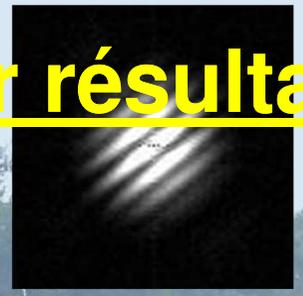
- Le principe de l'Interférométrie (à 2 ouvertures) :

<p>Comment augmenter la résolution ?</p>  <p>• À cause de la diffraction, l'image de l'étoile n'est qu'une grosse tache.</p> 	<p>Comment augmenter la résolution ?</p>  <p>• La taille de la tache décroît avec la taille du télescope.</p> 
<p>Comment augmenter la résolution ?</p>  <p>• Avec un très grand télescope, l'effet de la diffraction disparaît.</p> 	<p>Comment augmenter la résolution ?</p>  <p>• Avec un très grand télescope, l'effet de la diffraction disparaît.</p> 

Crédit : B. Mollier

Pour accroître la résolution, on aug

ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Le principe de l'Interférométrie (à 2 ouvertures) :

Pour accroître la résolution, on éc

Utilisons deux télescopes

• La largeur des franges diminue avec l'écartement des télescopes

Use two telescopes

• L'étoile bave sur les franges sombres.
• Le contraste baisse.

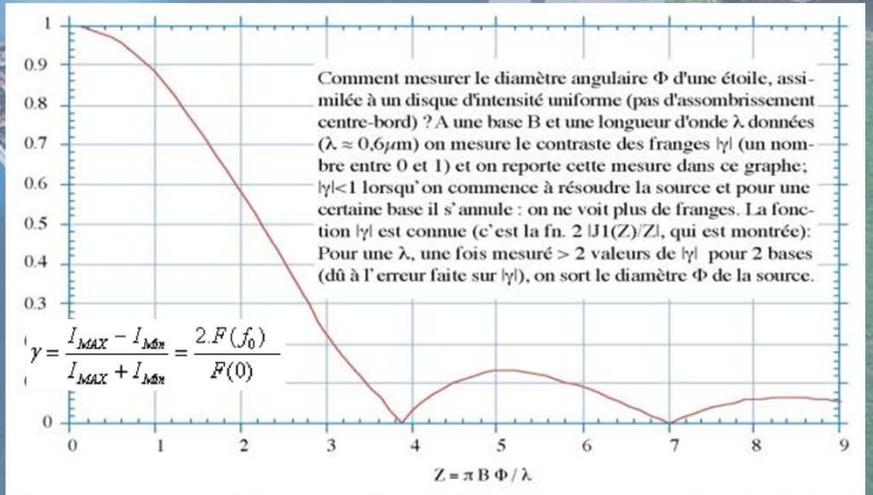
Use two telescopes

• Les franges disparaissent, le contraste est nul, l'étoile est résolue !

Use two telescopes

• Les franges disparaissent, le contraste est nul, l'étoile est résolue !

Crédit : B. Mollier



Le premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Le principe des speckles et les interférences à 2 télescopes s'expliquent par le même phénomène physique :

La nature ondulatoire de la lumière



Premières interférences de lumière: Thomas Young (1804)



- intuitions de modèle ondulatoire de la lumière

1. *The Bakerian Lecture. Experiments and Calculations relative to physical Optics.* By Thomas Young, M. D. F. R. S.

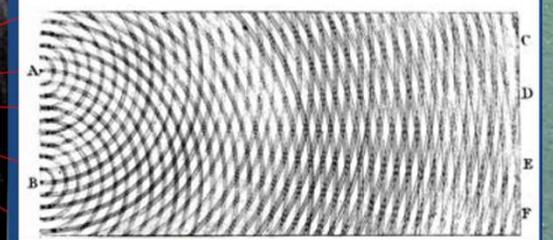
Read November 24, 1803.

I. EXPERIMENTAL DEMONSTRATION OF THE GENERAL LAW OF THE INTERFERENCE OF LIGHT.

IN making some experiments on the fringes of colours accompanying shadows, I have found so simple and so demonstrative a proof of the general law of the interference of two portions of



Crédit A. Labeyrie



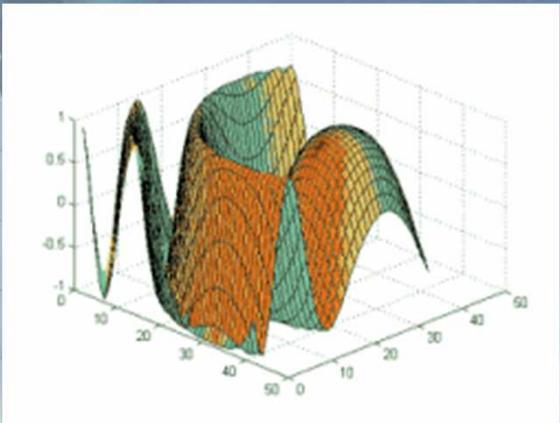
ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



•Le principe des speckles et les interférences à 2 télescopes s'expliquent par le même phénomène physique :

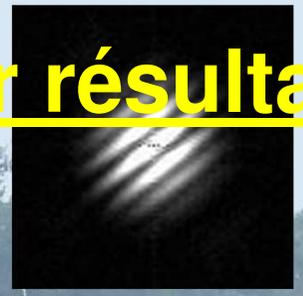
La nature ondulatoire de la lumière

Notion de front d'onde :



- La lumière, sous son aspect ondulatoire, peut être considérée comme l'oscillation de l'amplitude d'un champs électromagnétique en un point de l'espace
- Une source de rayonnement électromagnétique est dite monochromatique si la longueur d'onde (séparation entre 2 maxima par exemple) est constante dans le temps.
- Le front d'onde est l'ensemble des points dont l'amplitude est identique (ici le front d'onde est circulaire)
- La phase est l'avance ou le retard de propagation de cette onde lors de sa propagation dans l'espace, depuis l'émission par la source.

ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

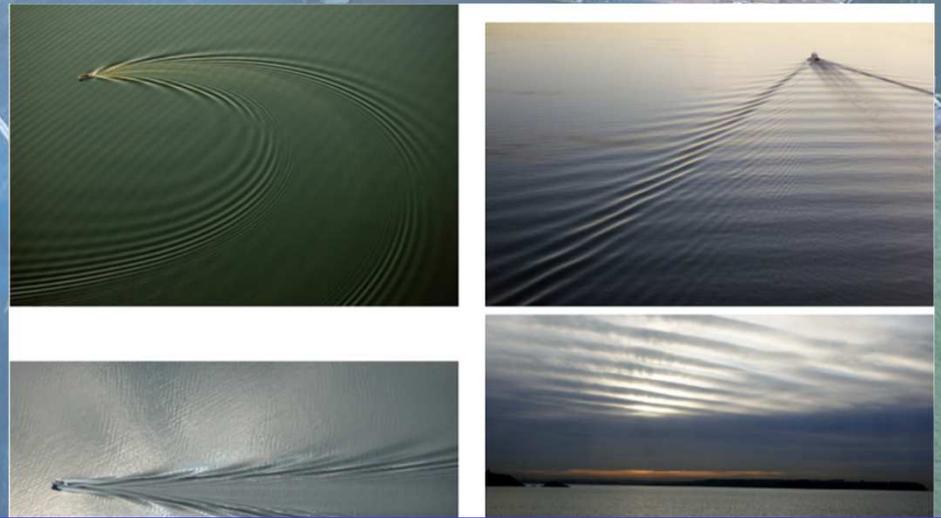


• Le principe des speckles et les interférences à 2 télescopes s'expliquent par le même phénomène physique :
La nature ondulatoire de la lumière

Analogie intéressante : propagation de la houle

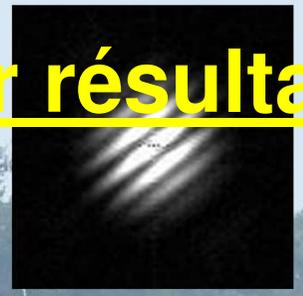


Milieu perturbé : Speckles

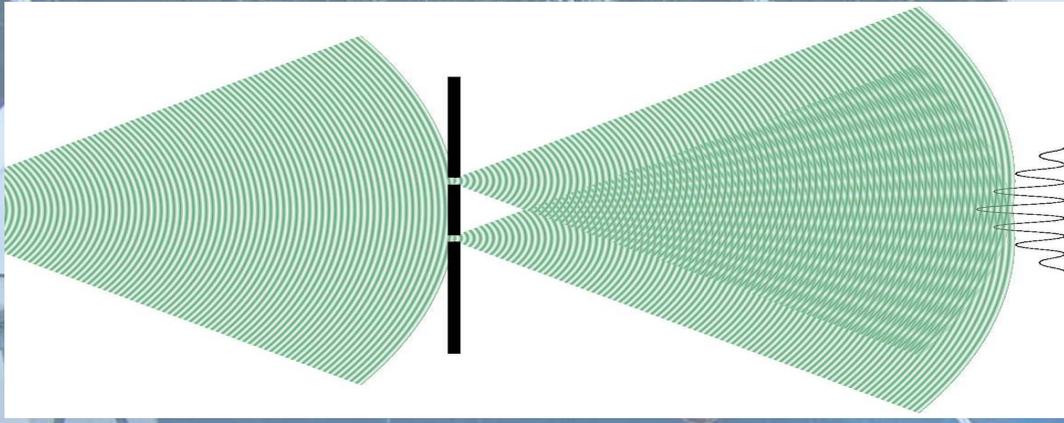


Milieu faiblement perturbé : Interférences

ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

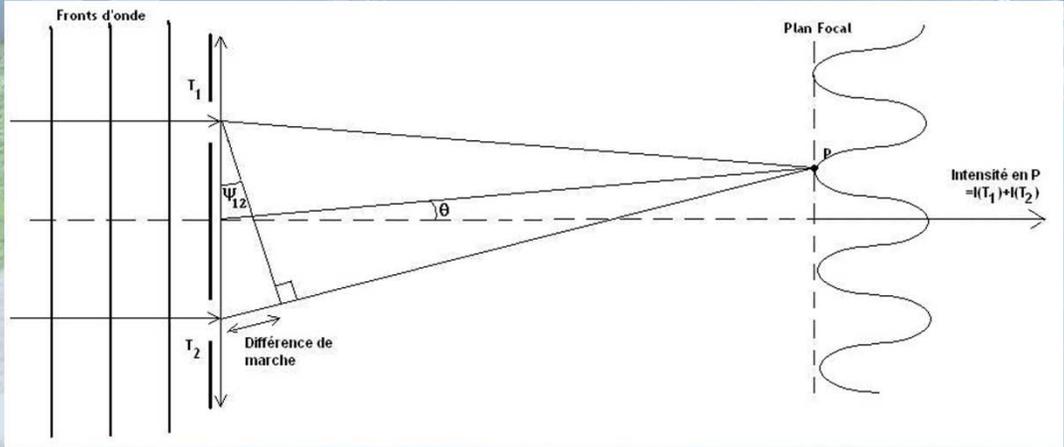


•Principes des interférences : Expérience des trous d'Young



- Source monochromatique
- Onde incidente plane (source non résolue)
- Distance au plan du détecteur grande devant l'écartement des trous

En notant I_1 et I_2 les champs électriques issus des trous 1 et 2



$$I(t) = I_1(t) + I_2(t) = I_0 \sin(\omega t) + I_0 \sin(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} \delta)$$

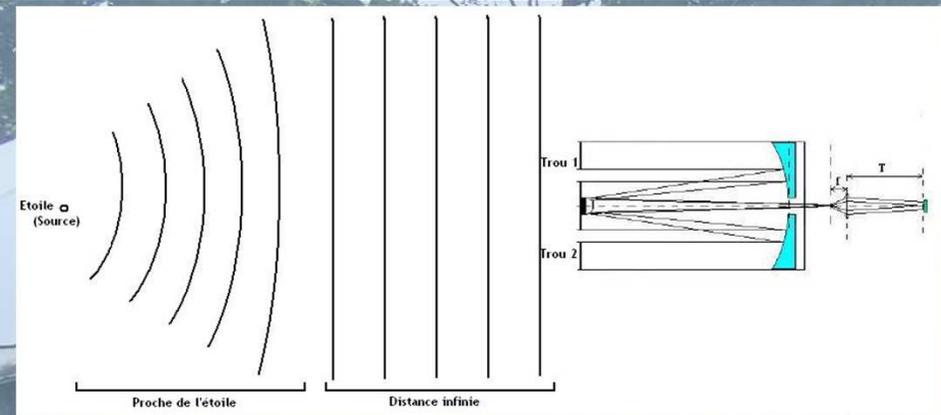
On obtient une succession de franges claires et sombres dépendant de δ la différence de marche entre les 2 ondes

$$\frac{2\pi}{\lambda} \delta \text{ phase de la source 1 par rapport source 2}$$

AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



•Principes : Masque de Fizeau



- Cas d'école : hors turbulence atmosphérique (la phase est modulée par le système d'acquisition)
- Source monochromatique
- Onde incidente plane (source non résolue)



- LX200 203mm
- Masque à trous
- Filtre rouge
- F/D=50 (tirage oculaire)
- Pose < tps de cohérence de la turbulence



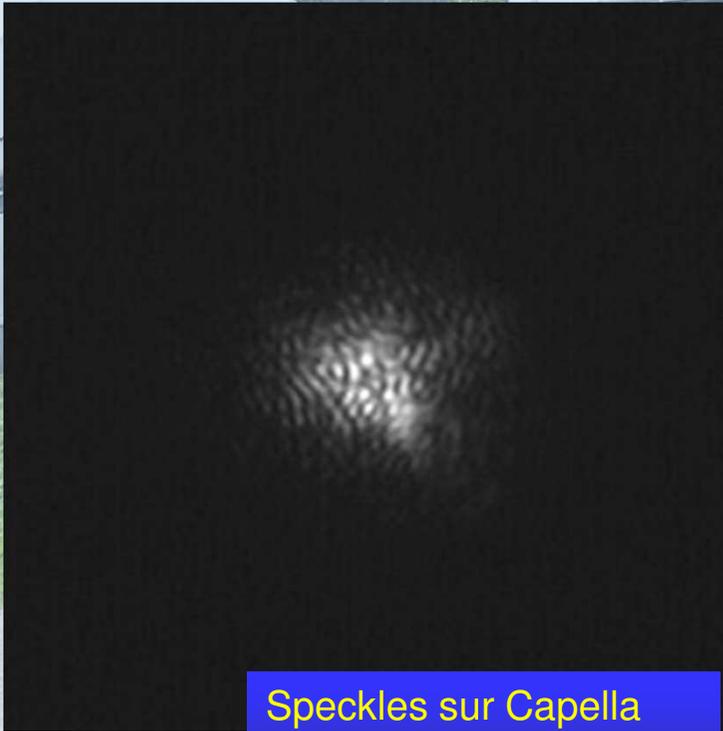
Capella : pose 20ms
Image B. TREGON

Avec turbulence atmosphérique, les franges sont simplement translatées de part et d'autre de la position centrale

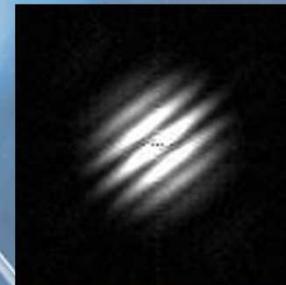
Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat



PSF simulée (à l'échelle)



Speckles sur Capella
(pleine ouverture)



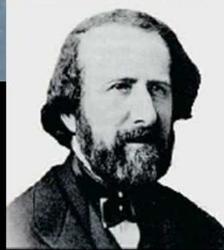
Franges sur Capella
(masque a 2 trous)

Interféromètre optique Amateur, premier résultat

• Rappels historiques

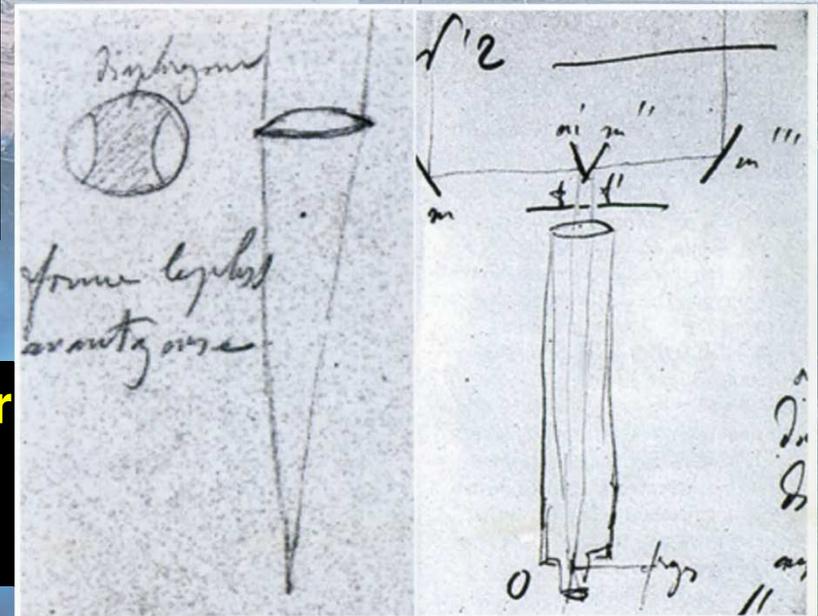
Idées de la mise en œuvre de l'expérience des trous d'Young aux étoiles

FIZEAU, Armand Hippolyte Louis (23 Septembre 1819, Paris, France
- 18 Septembre 1896, Venteuil, France)



Mise en œuvre du masque de Fizeau sur Étoiles à l'observatoire de Marseille

STEPHAN, Edouard Jean-Marie (31 Août 1837, Niort, France
- 12 Décembre 1923, Marseille, France)



3. Proposition pour une 1^{re} expérience d'interférométrie stellaire.

4. Proposition pour une 2^e expérience d'interférométrie stellaire.

Correspondance Fizeau/Stephan 1851

Source : L'astronomie juillet/aout 2014 vol 128 p 74 « la mesure interférométrique des diamètres stellaires »
D. Bonneau

ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Manip de Fizeau :

- Observatoire de St Véran (2000) :

Le site (en 2000)



Installation



Pointage en



L'équipe



Le masque



Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Manip de Fizeau :

- Observatoire de St Véran :

Ont été observés:

- Aldébaran
- Capella
- Europe
- L'étoile double ADS 16877
M1 : 6,3 et M2 : 7,2
Séparation 0,46"

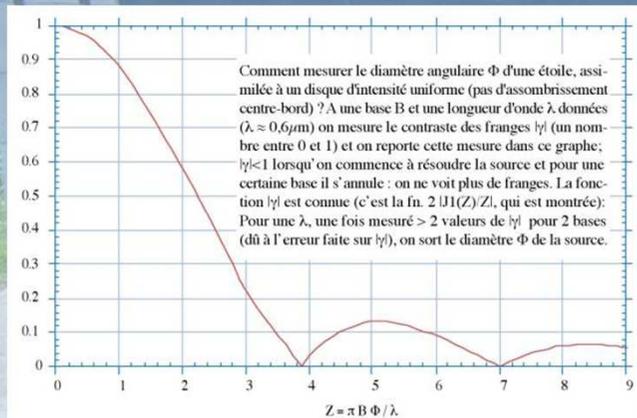
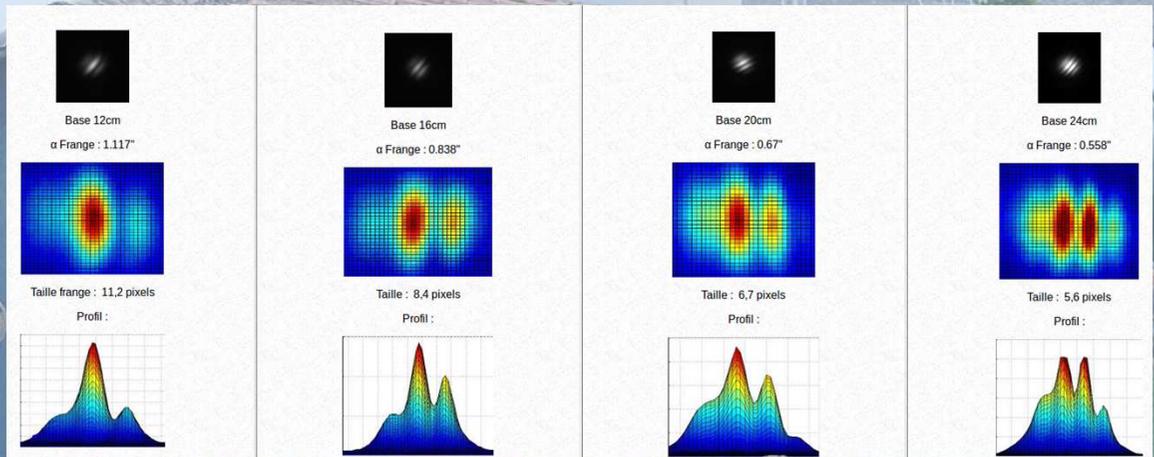


Figure 2: Contraste des franges dans un interféromètre pour une étoile assimilée à un disque uniformément brillant

Résultats :

- Aldébaran (Calibration)
- Capella (Saturée)
- Europe mesurée à 0,7"
- L'étoile double ADS 16877
Mesurée à 0,48"

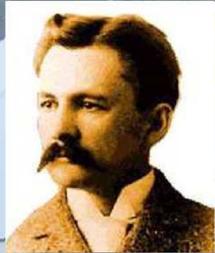
Contrainte :

La lecture du contraste des

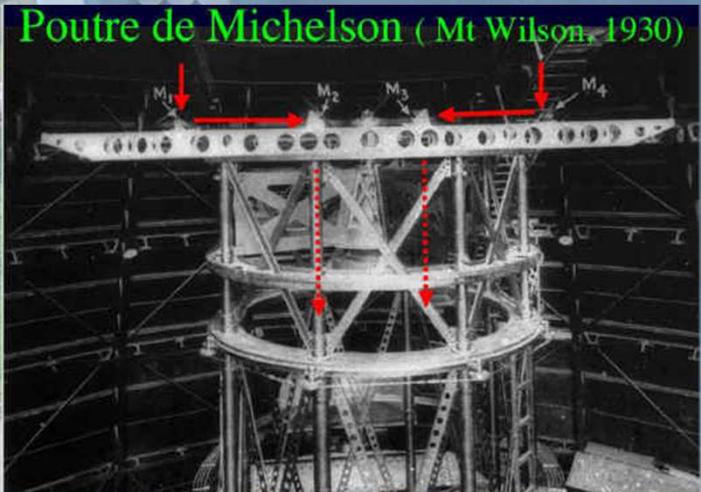
Le premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



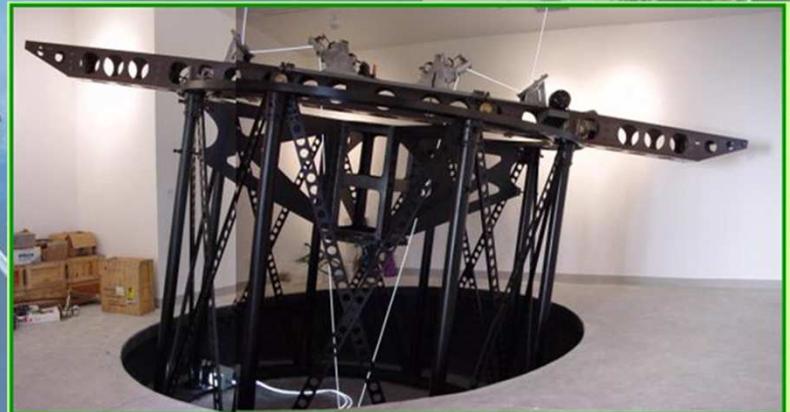
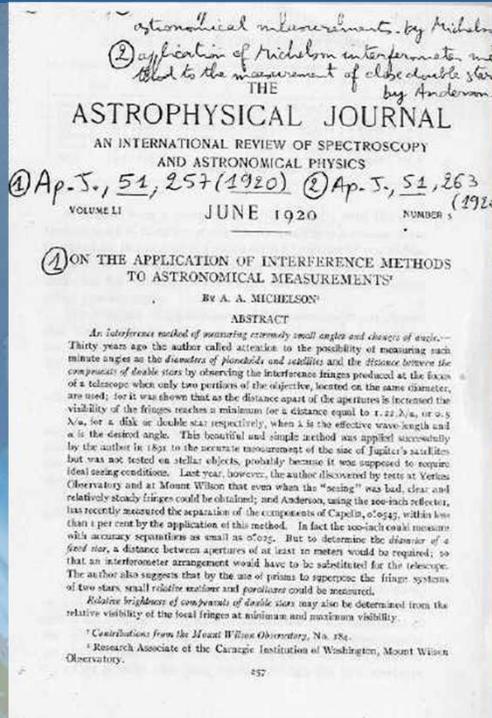
•Rappels historiques



En 1920, Mesure du diamètre de Betelgeuse
MICHELSON, Albert Abraham (19 Décembre 1852, Strzelno, Pologne - 9 Mai 1931, Pasadena, Californie, Etats-Unis)



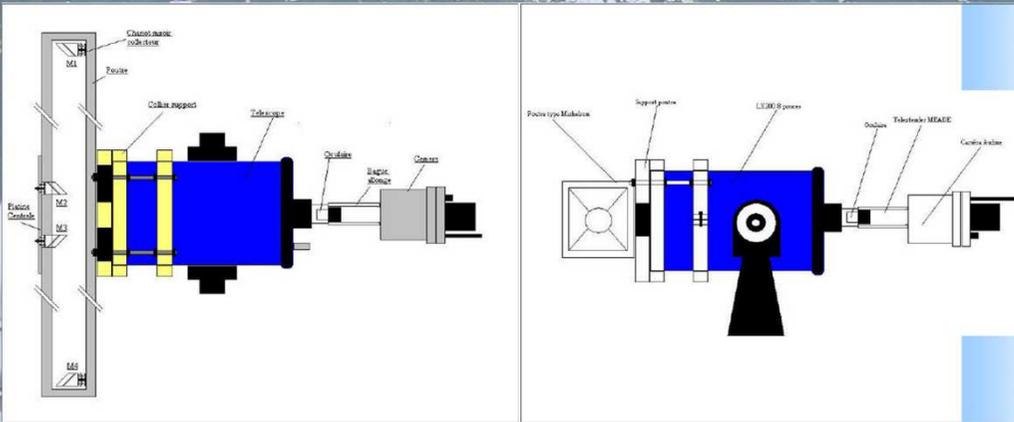
Poutre de Michelson (Mt Wilson, 1930)



Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat

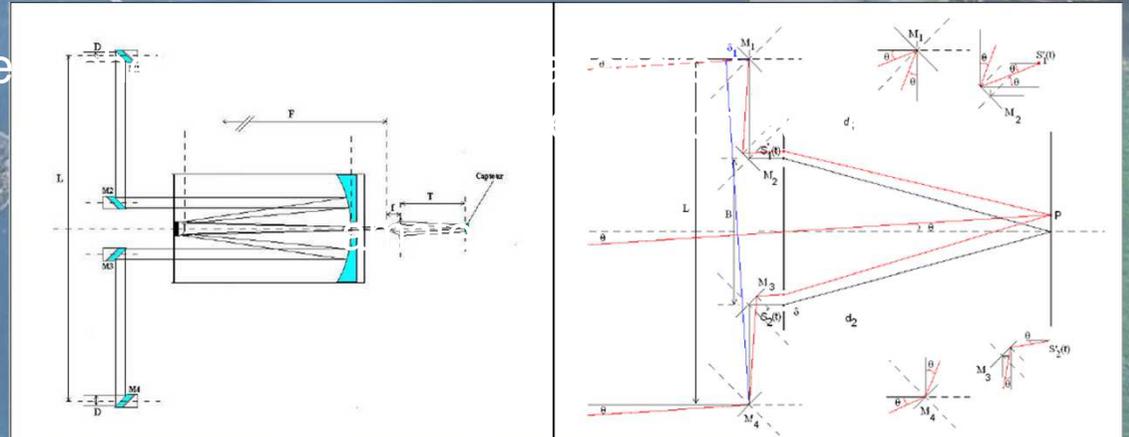


- Manip de Michelson :



Pourquoi ne pas mettre au point un interfé

Sur la base du principe de la poutre de
 - Amélioration de la
 - Utile sur les étoiles doubles
 - Premiers pas vers la HRA

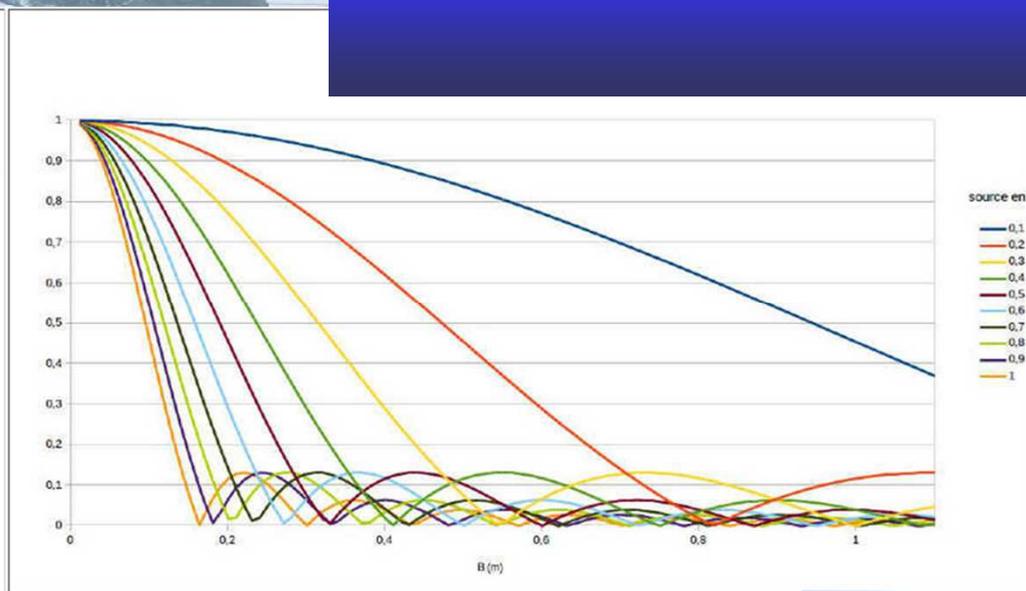
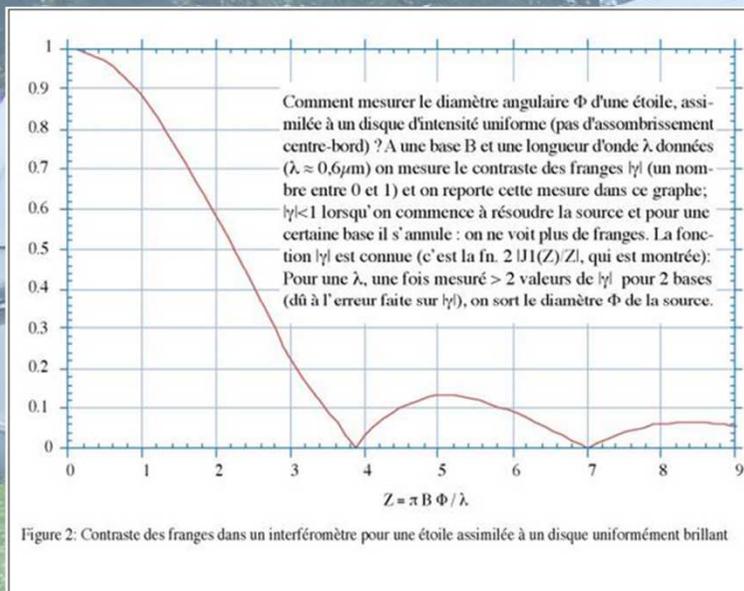


1er Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Manip de Michelson :

Pourquoi ne pas mettre au point un interféromètre



La fonction d'extinction de franges pour un disque uniforme est connue. Un simple tableur permet de tracer γ fonction de la base

Il en va de même pour les étoiles doubles. On peut donc envisager de faire des mesures

Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Manip de Michelson :



Miroirs secondaires de 50mm



Double périscope sur glissières



Le vieux C8 et le Contre poids



Mise en place préliminaire



Let's do-it-yourself !!

ier Interféromètre optique Amateur, premier résultats



Dans l'intervalle, amélioration des supports

- Changement des miroirs pour avoir une
- Diminuer le vignetage sur chaque train



psf enveloppe non déformée
optique

Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Manip de Michelson :

A 4m de focale, l'échantillonnage montre les franges ambiguës...

Filename=franges_3_sans_filtre.avi
Date=10.11.2013
Start=18:03:55
Duration=30s
Frames captured=893
Camera= acA640-100gm
ROI=656x494
FocalLength=4150mm
FPS=30
Shutter=10.00ms
Gain=733
Gamma=100 (off)
BlackLevel=64
Histogramm(min)=0
Histogramm(max)=190
Histogramm=74%
Noise=9.672141

ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Manip de Michelson :

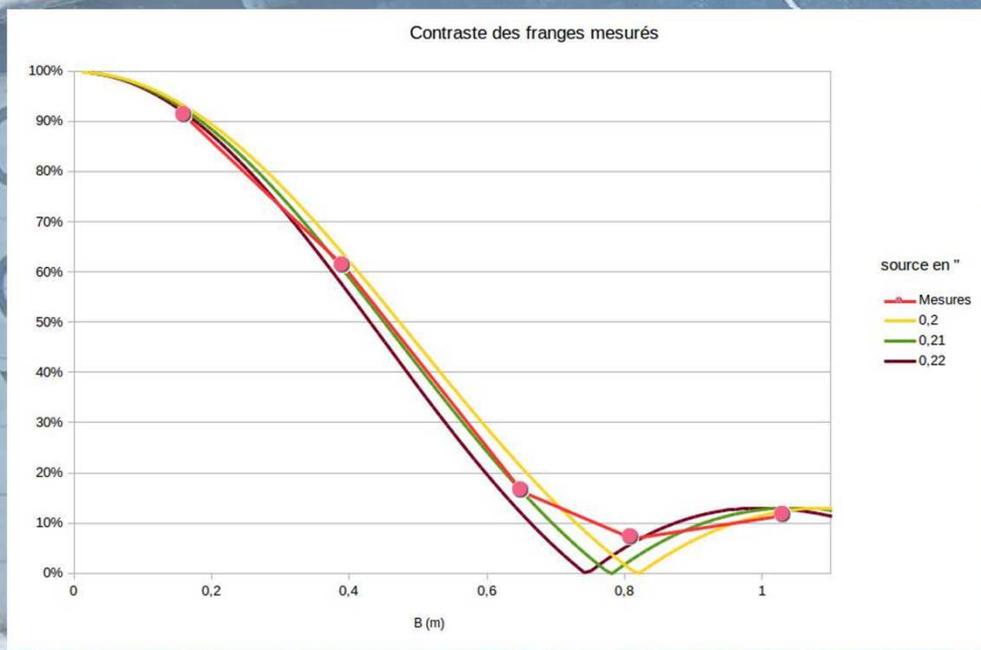
Fabrication d'une étoile artificielle :
laser de 5mW + Trou dépingle calibré de $10\mu\text{m}$



L'étoile artificielle est placée à $9\text{m}90 \pm 15\text{cm}$
(Diamètre théorique = $0.208''$ d'arc)

AT60 Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Manip de Michelson : La première mesure !!



Détermination de Gamma au différe

Le meilleurs ajustement correspond à

Ça marche !!!!

Mais on triche sur un truc.....

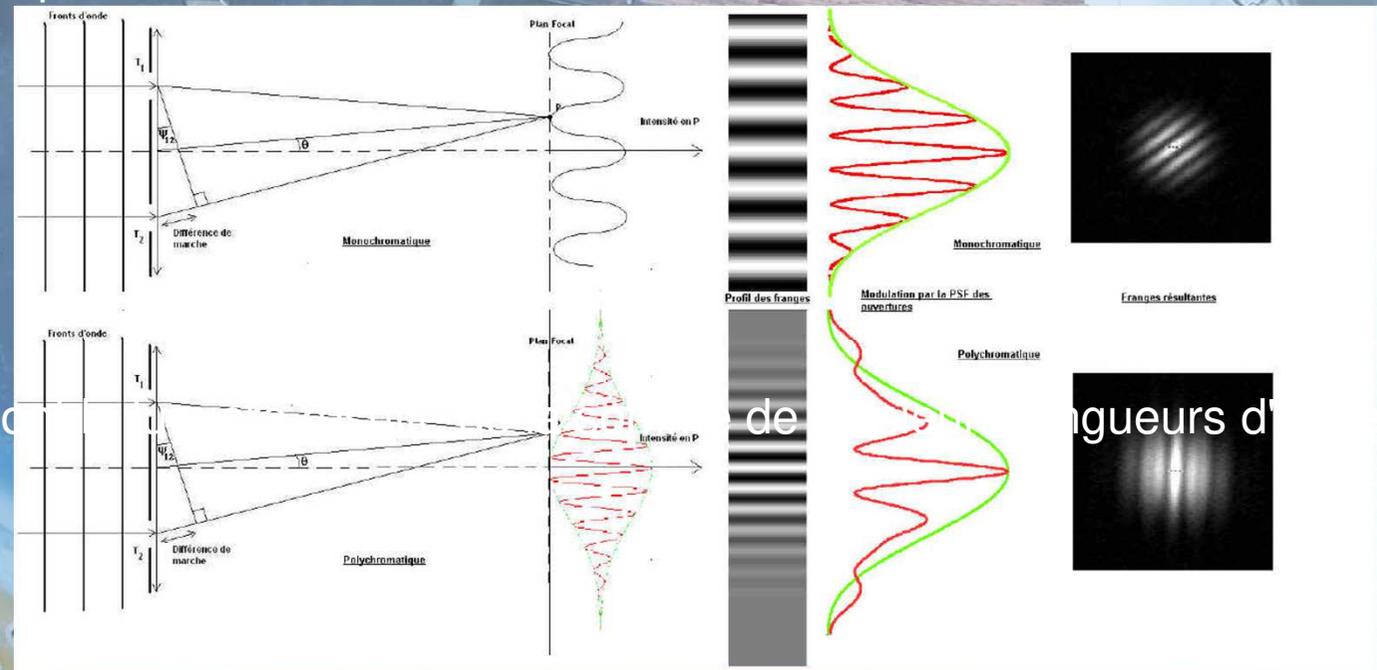
ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Conditions polychromatique :
Longueur de cohérence



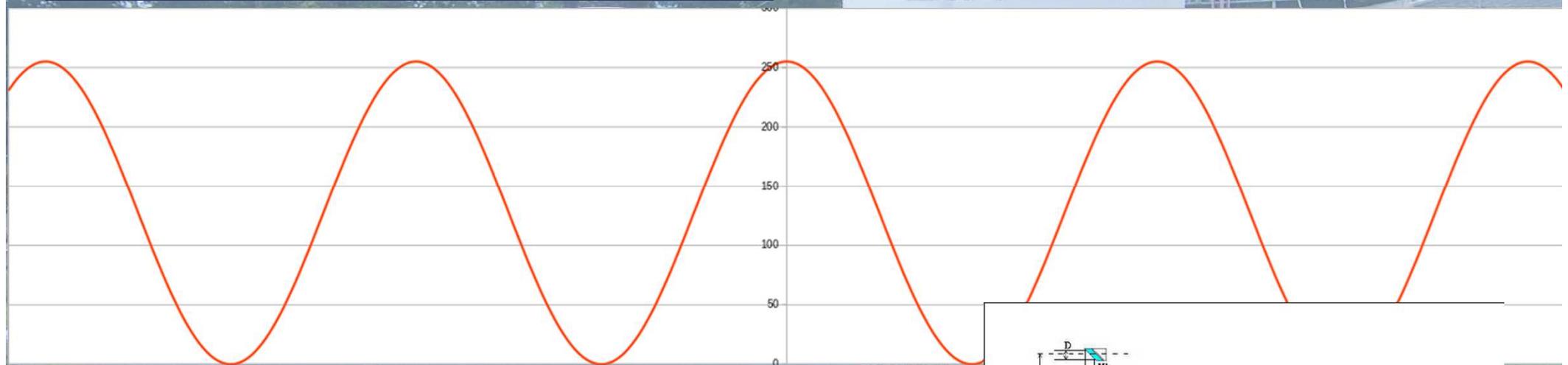
Le laser est quasi monochromatique, autrement dit, il a une longueur de cohérence très grande.

Pour une étoile (hors filtrage), de longueur d'onde variable, la longueur de cohérence est plus petite.

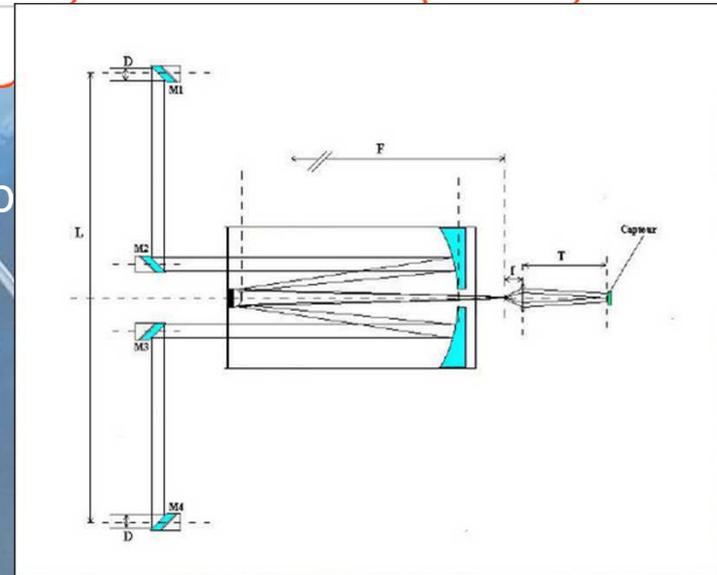


ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Condition polychromatique :
Longueur de cohérence



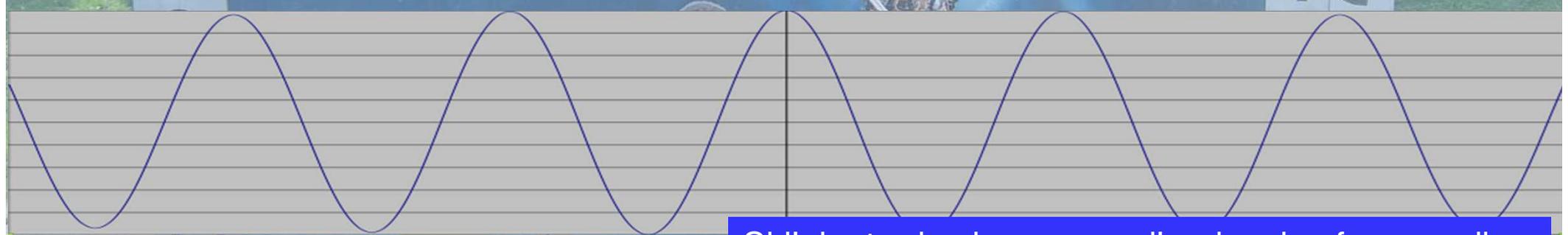
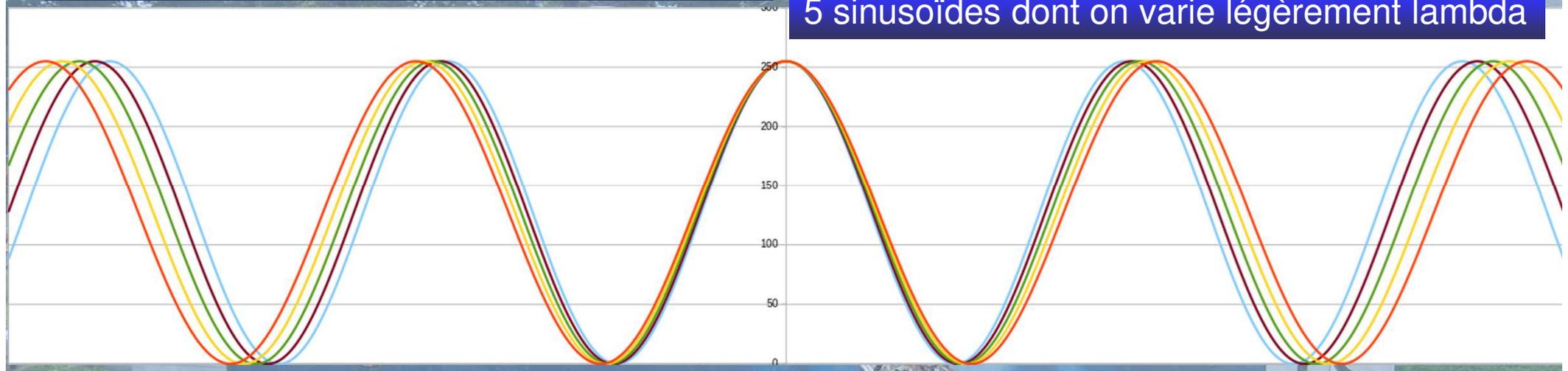
Laser He-Ne, une seule longueur d'onde, les franges se fo



ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Condition polychromatique :
Longueur de cohérence

5 sinusoïdes dont on varie légèrement λ



Somme des intensités

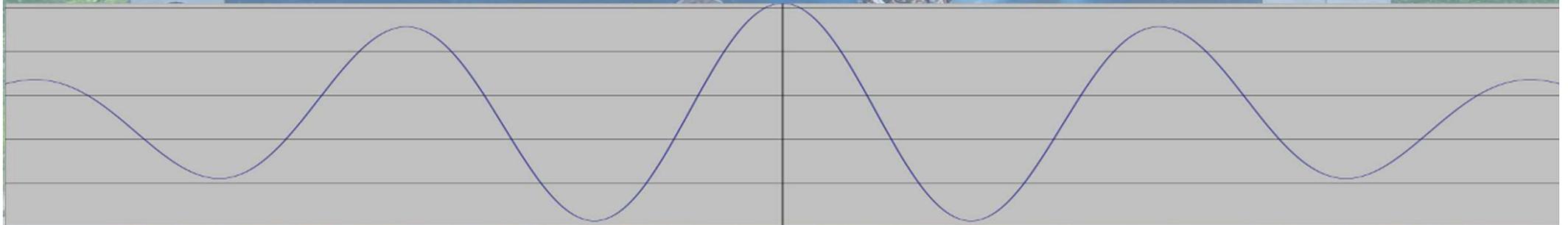
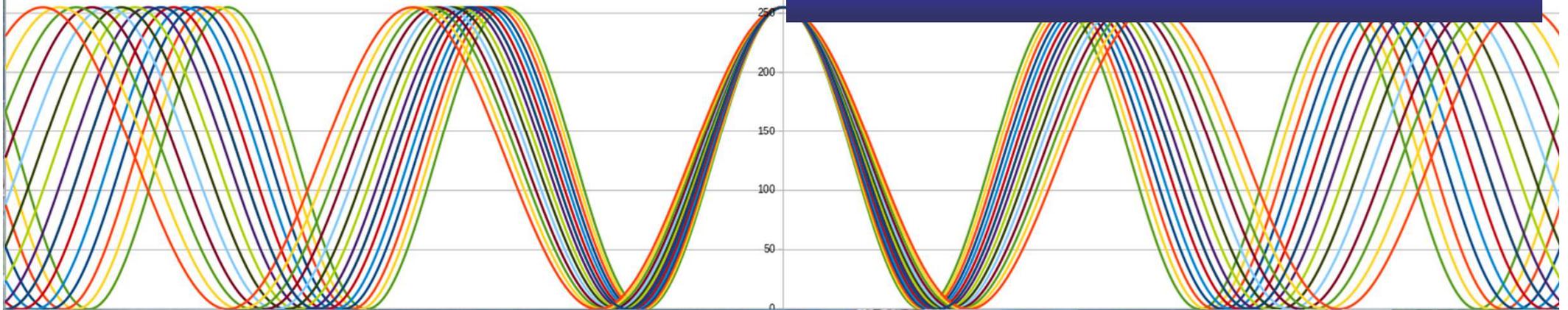
Si j'ajoute des longueurs d'ondes, les franges disparaissent



Interférométrie Amateur sur étoile double

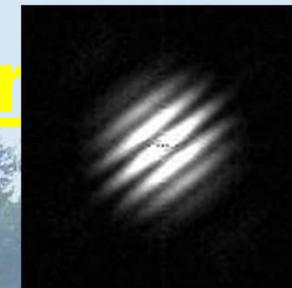
- Condition polychromatique :
Longueur de cohérence

15 sinusoïdes dont on varie légèrement λ



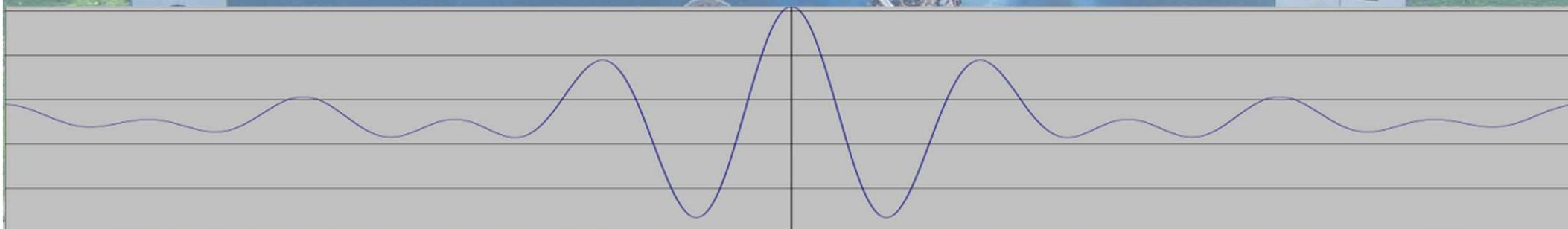
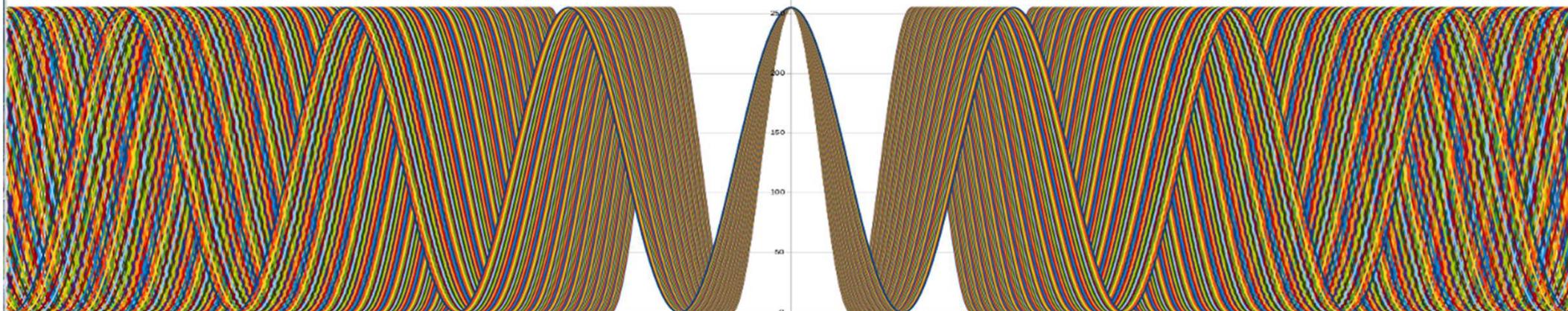
Somme des intensités

Interféromètre optique Amateur, premier



- Condition polychromatique :
Longueur de cohérence

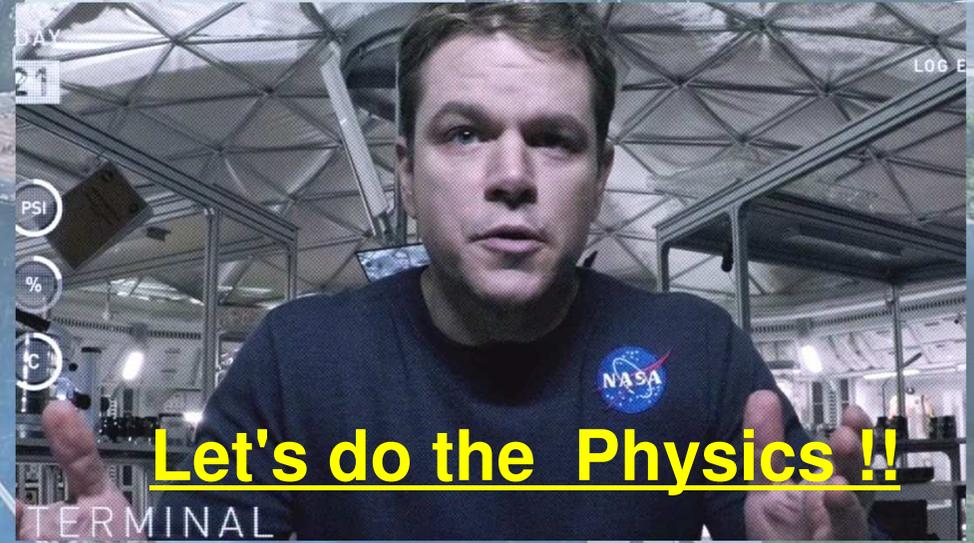
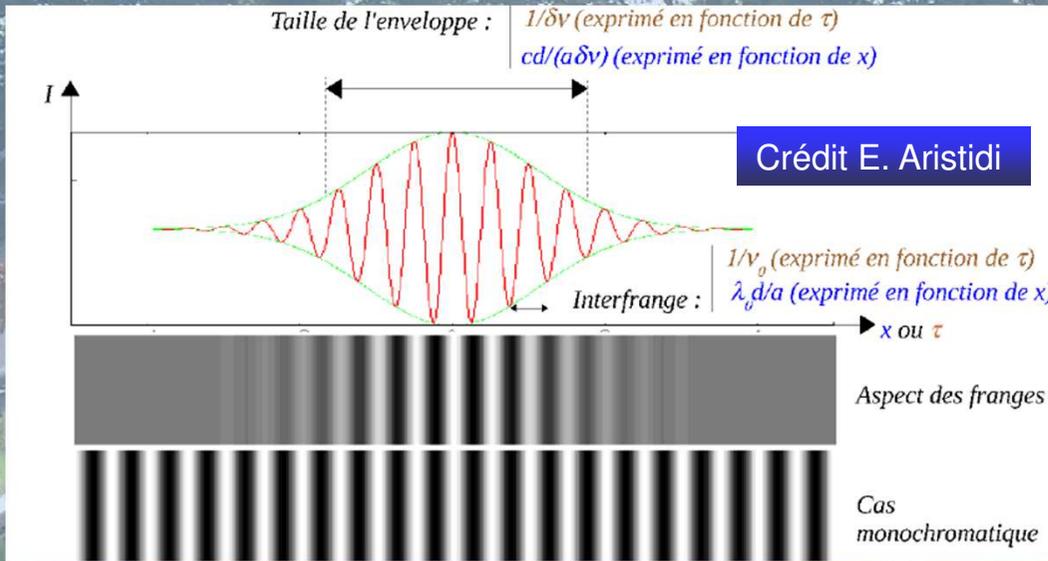
50 sinusoïdes dont on varie légèrement λ



Somme des intensités

1er Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Conditions polychromatique :



La longueur de cohérence :

$$L_c = c\tau_c = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

	λ_0 (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	τ_c (s)	L_c (m)	N_f
Laser He-Ne	632.8	10^{-3}	10^{-9}	0.3	50 000
Raie rouge de l'hydrogène	656.2	0.1	10^{-11}	0.004	6500
Lumière du Soleil	500	400	2.10^{-15}	6.10^{-7}	1
Lumière blanche + filtre étroit	500	20	3.10^{-14}	10^{-5}	25

Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat

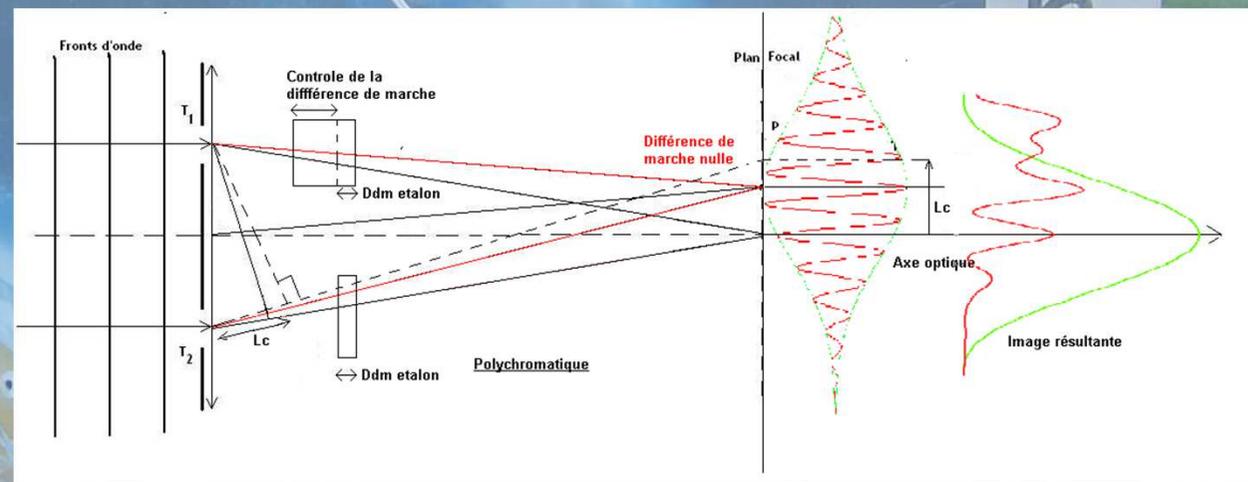
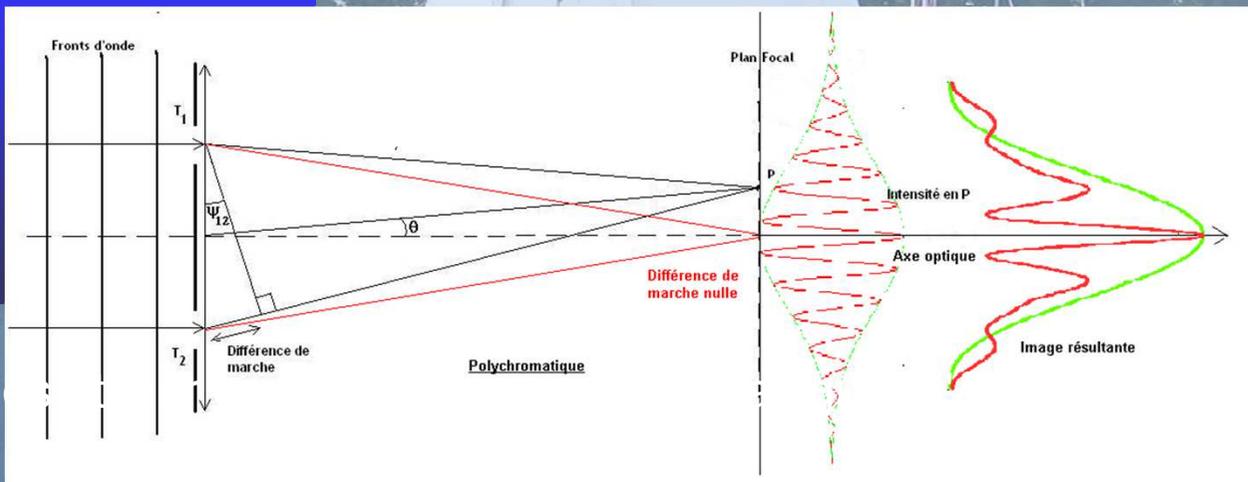


- Conditions polychromatique :

Solution =
Contrôler la
Différence de
marche

Le but est de déplacer les frang

Or la D.D.M est ajustable
En fonction de l'épaisseur d'un
Milieu transparent traversé :
 $ddm = n \cdot \Delta l$

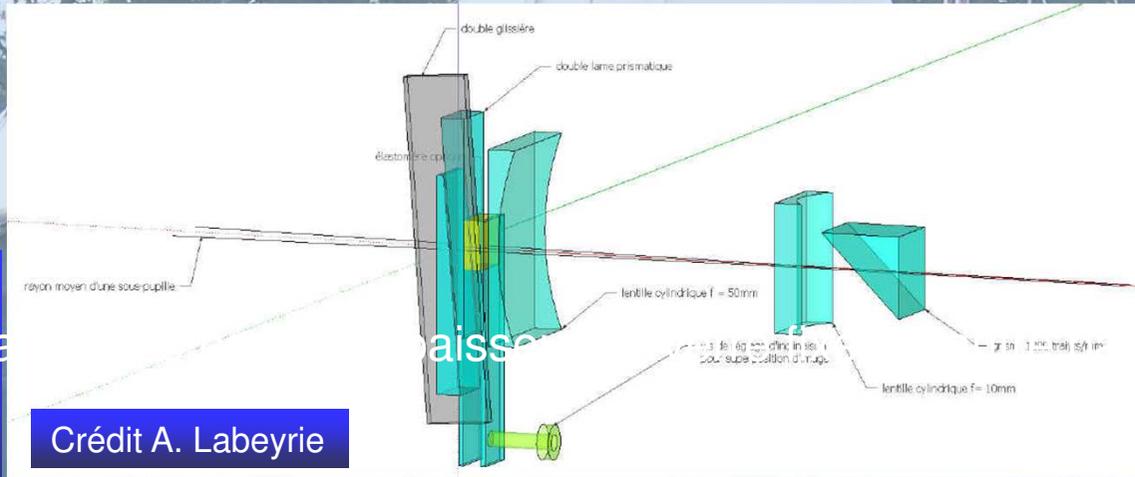


Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat



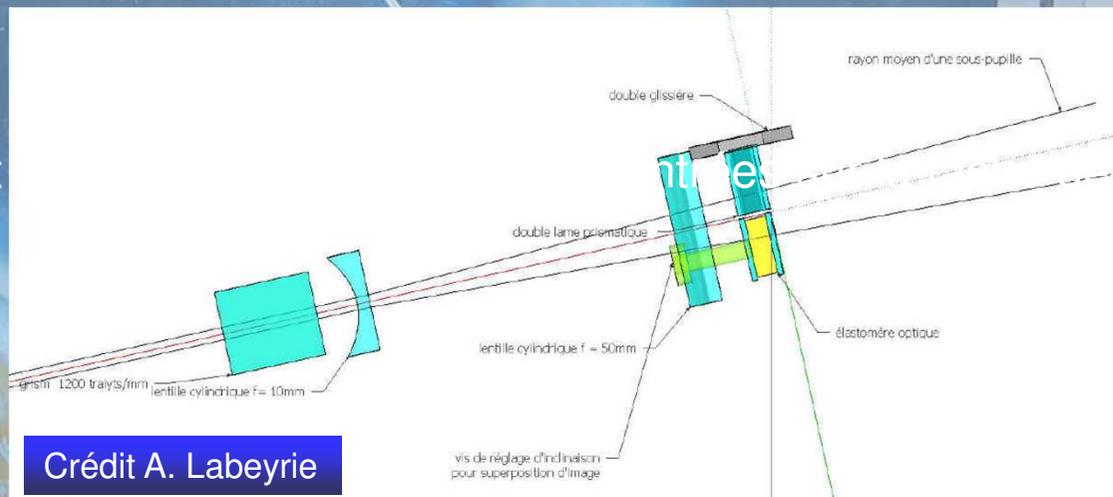
- L'oculaire Frangeur :

Techniquement parlant :
L'un des deux faisceaux



Crédit A. Labeyrie

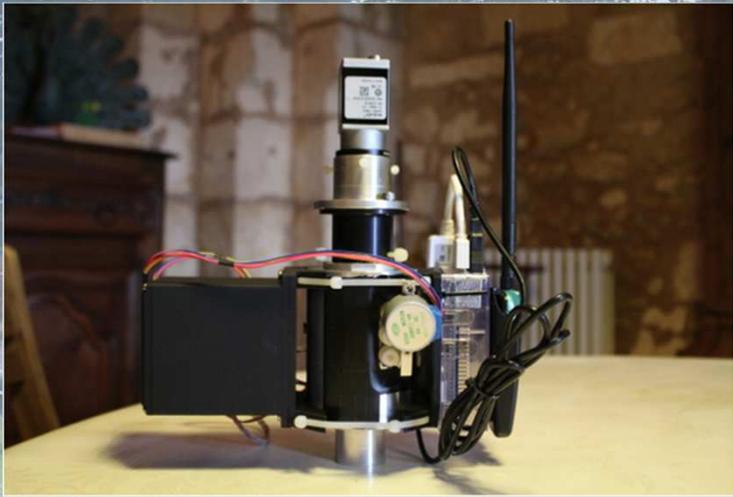
Lorsque les deux chemins sont



Crédit A. Labeyrie

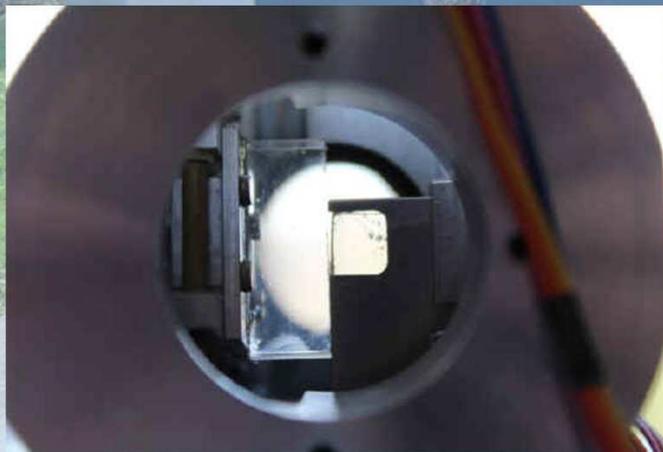
AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- L'oculaire Frangeur :



L'oculaire frangeur est donc un

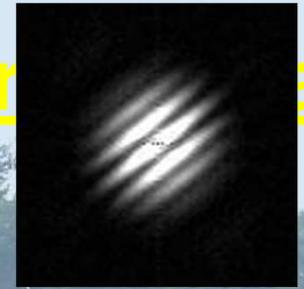
Le modèle que l'on a réalisé p



La cale ddm étalon est un prisme souple permettant la superposition des PSF



Interféromètre optique Amateur, premier essai



- Premier essai de l'interféromètre complet :
(Poutre + Oculaire Frangeur) 02/2019

Pour ce premier essai, la distance M1 / M4

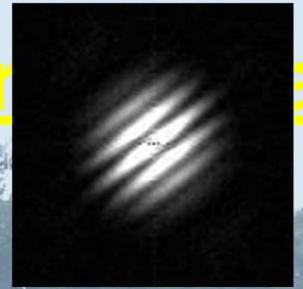


La distance M1/M2 est réglée avant le montage de l'interféromètre

La platine M4 dispose d'un micromètre pour régler la distance.
Plage de réglage : 15mm



Interféromètre optique Amateur, premier



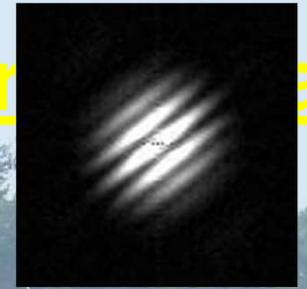
Collimation de la poutre
(essai réalisé au Foyer du C8, sur Procyon lo)



[ZWO ASI224MC]
Capture Area Size = 1304 * 976
Capture Limit = 30s
Exposure = 10ms
Gain = 400
Output Format = *.AVI



Interféromètre optique Amateur, premier



Superposition des pupilles sur Bételgeuse après installation de l'oculaire frangeur

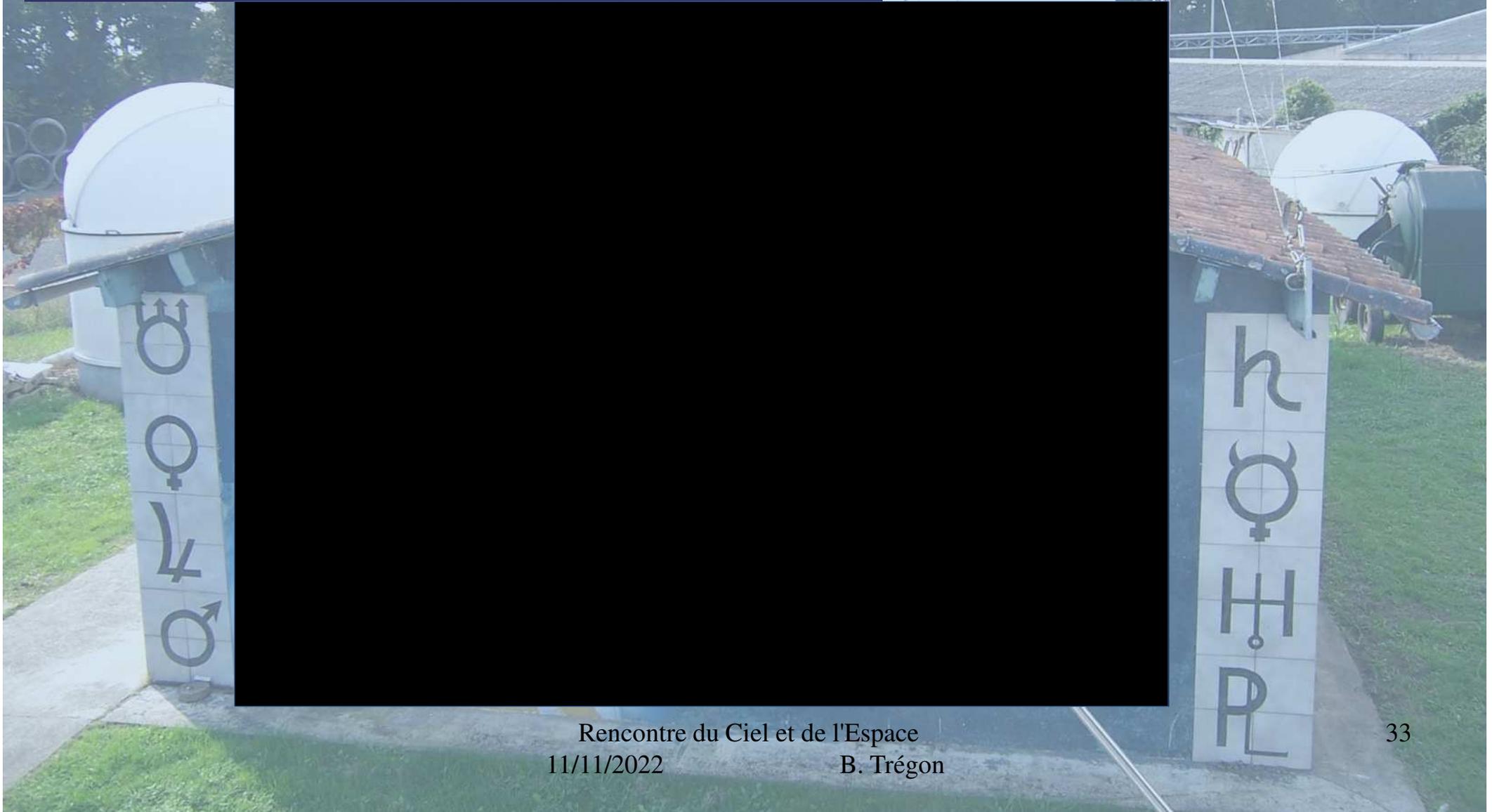
Les pupilles sont anamorphosées (dilatées en X, compressées en Y)

[ZWO ASI224MC]
Capture Area Size = 1304 * 976
Capture Limit = 30s
Colour Format = RAW8
Debayer Preview = ON
Flip = None
Gain = 454

ier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



Ce que donne une séquence vidéo de Tavelures :



Interféromètre optique Amateur, premier résultat



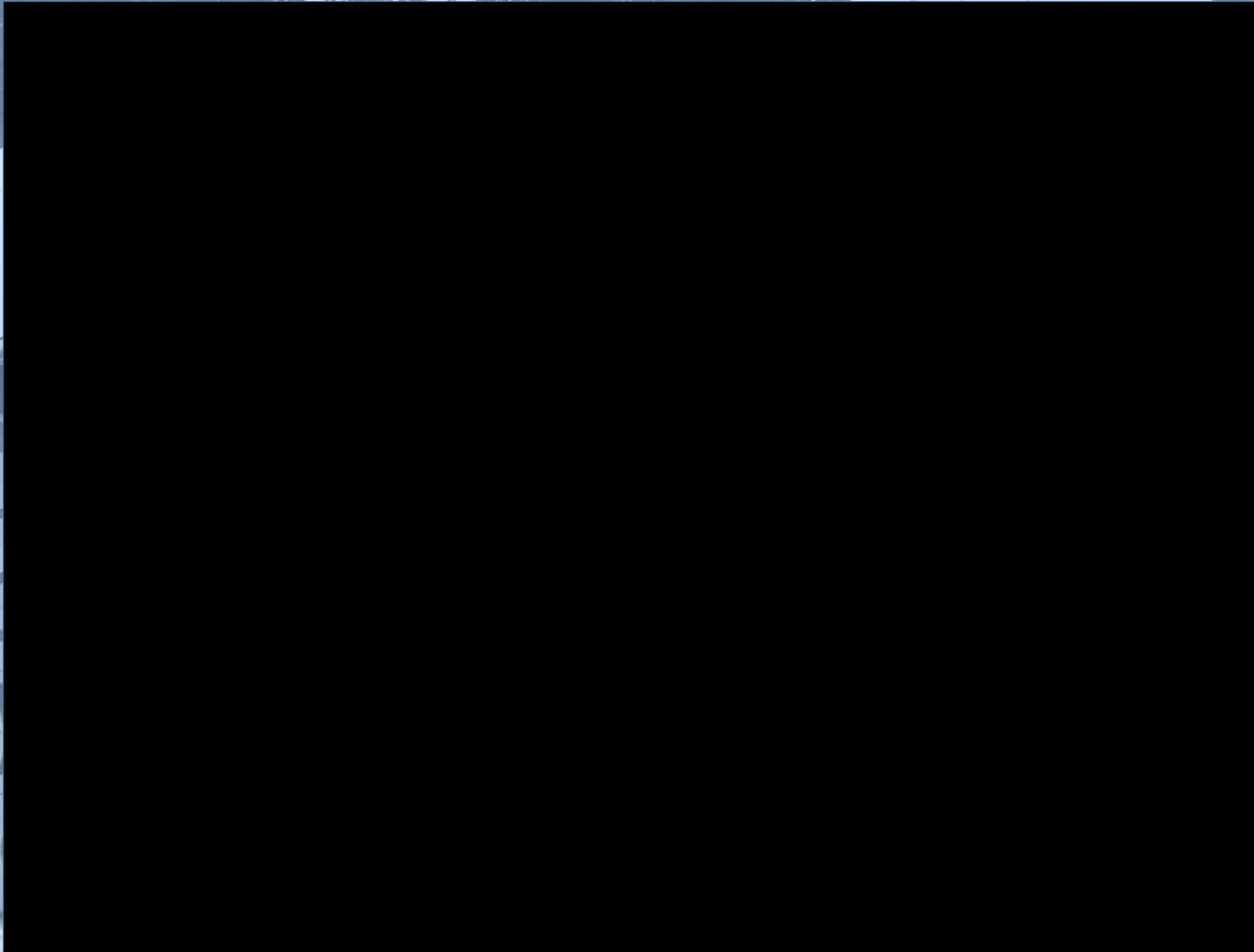
Premières franges obtenues sur Bételgeuse
Après 3 balayages de la ddm de l'Oc

Meilleures images extraites d'une vidéo de 30s (zoom x2)

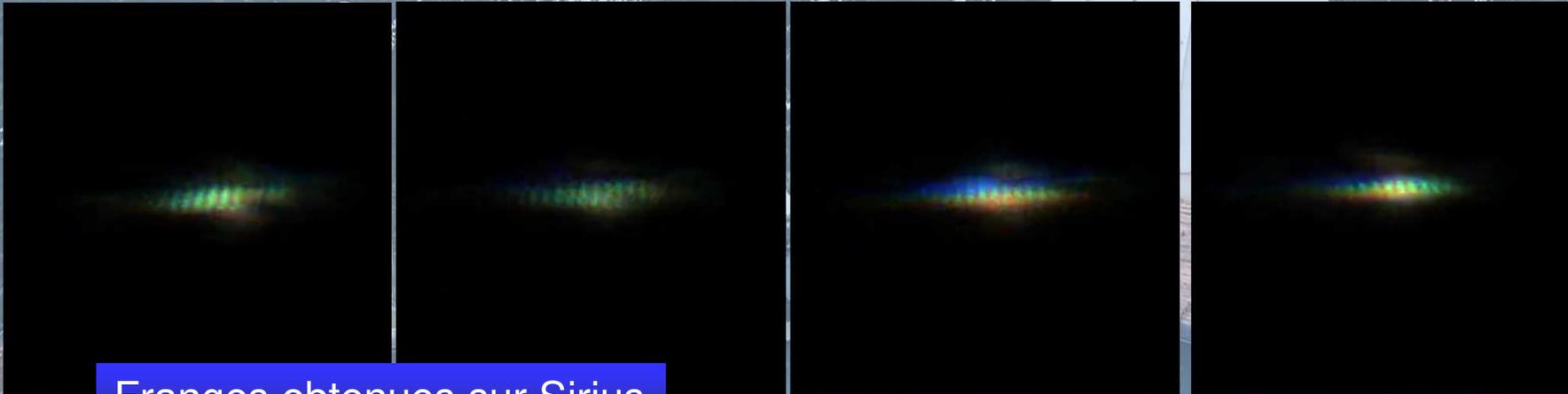
[ZWO ASI224MC]
Capture Area Size = 1304
Capture Limit = 30s
Colour Format = RAW8
Debayer Preview = ON
Exposure = 30ms
Flip = None
Gain = 425

Visibilité pour l'observatoire:
Brantome 2019-02-23 20h50m31s (UTC)
Temps Universel: 2019-02-23T20:50:31
JD=2458538.36841
Heure sidérale locale: 07h01m45s
Angle horaire: 01h05m33s
Azimut: 205° 30' 06"
Hauteur: +49° 29' 10.7"
Hauteur géométrique: +49° 28' 21.2"
Masse d'air: 1.3
Lever: 13h12m36s Azimut: 78° 50'
Transit: 19h45m07s +52° 03'
Coucher: 02h21m36s Azimut: 281° 10'

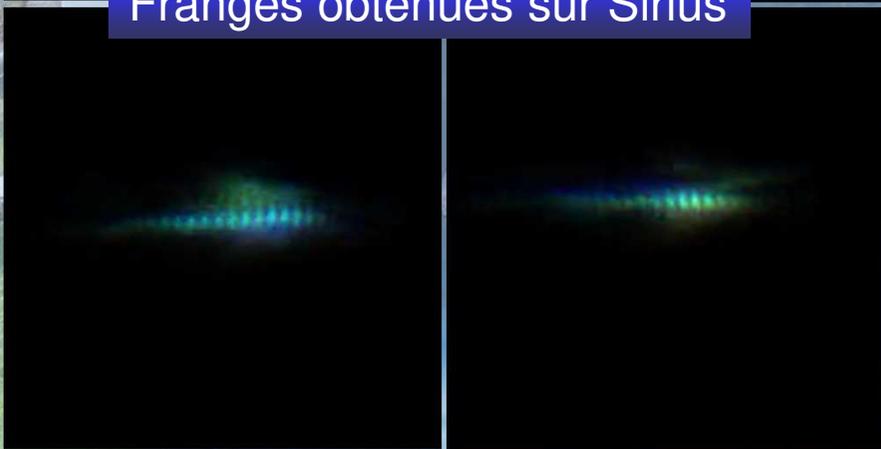
Le premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



Interféromètre optique Amateur, premier résultat



Franges obtenues sur Sirius

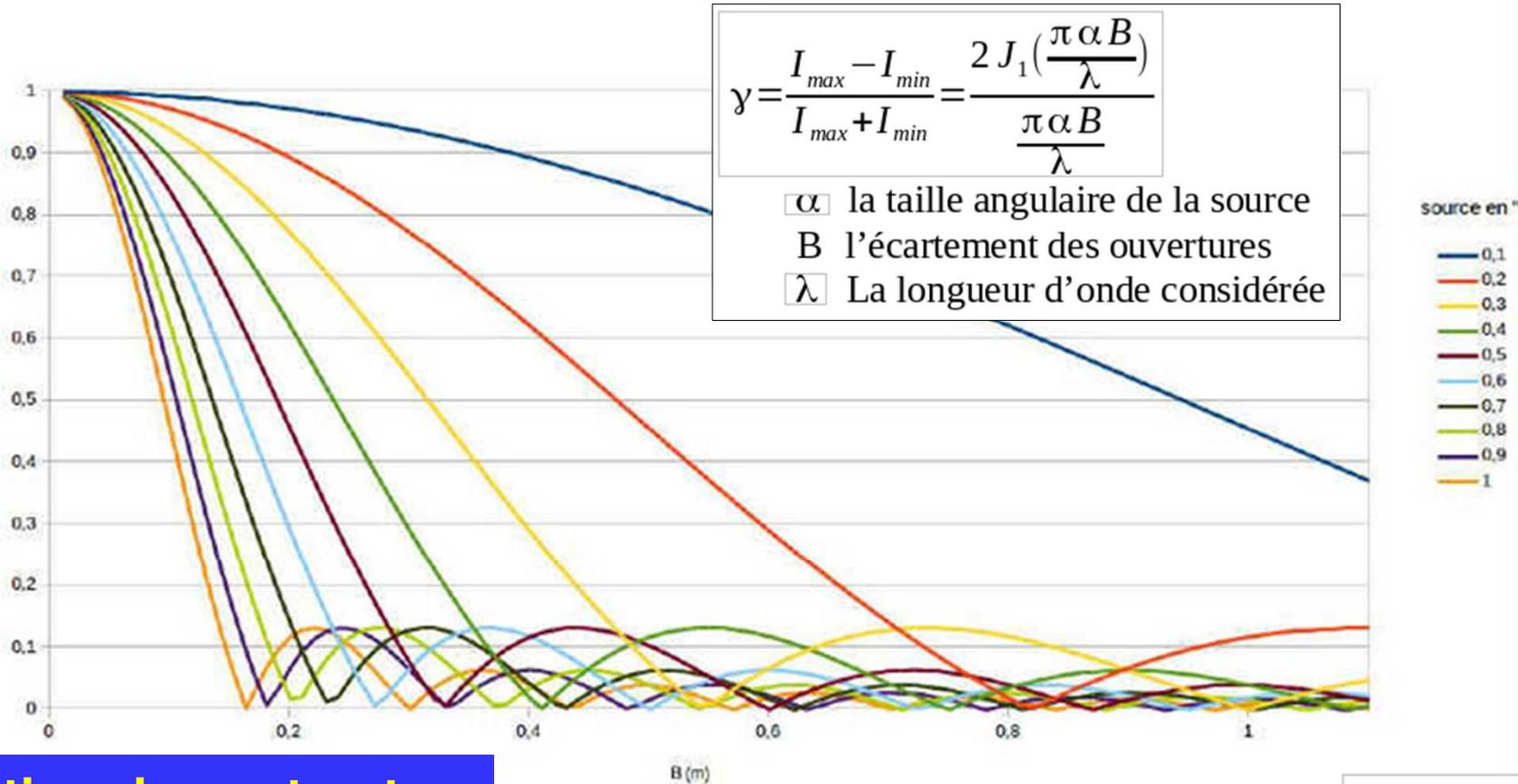


Meilleures images extraites d'une vidéo de 30s

[ZWO ASI224MC]
Capture Area Size = 1304 * 97
Capture Limit = 30s
Colour Format = RAW8
Debayer Preview = ON
Exposure = 9ms
Flip = None
Gain = 425

Visibilité pour l'observatoire:
Brantome 2019-02-23 21h37m14s (UTC)
Temps Universel: 2019-02-23T21:37:14
JD=2458538.40086
Heure sidérale locale: 07h48m36s
Angle horaire: 01h02m36s
Azimut: 196° 44'38"
Hauteur: +26° 18'32.5"
Hauteur géométrique: +26° 16'35.4"
Masse d'air: 2.2
Lever:15h42m59s Azimut:113° 35'
Transit:20h34m47s +27° 55'
Coucher:01h30m31s Azimut:246° 25'

Interféromètre optique Amateur, premier résultat



Notion de contraste des franges

La source est résolue pour gamma = 0

$$\gamma = 0 \Rightarrow \theta = \frac{\lambda}{B}$$

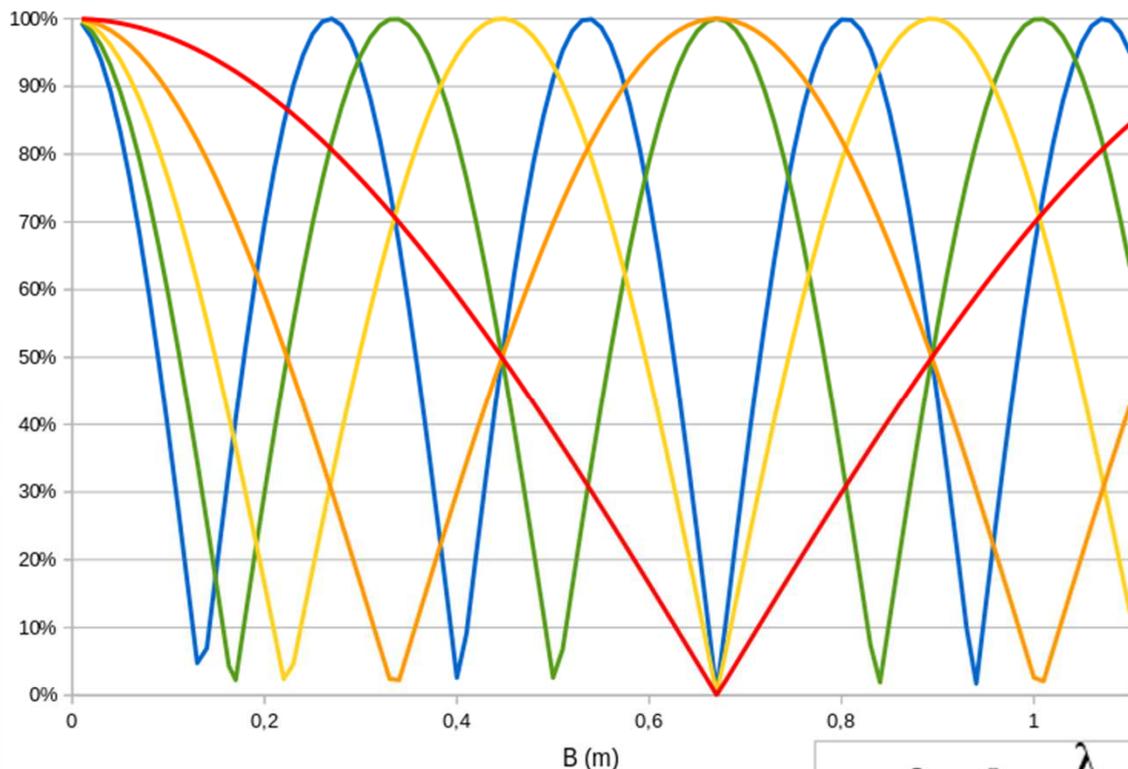
La fonction d'extinction de franges pour un disque uniforme en fonction de la base M1/M4

Interféromètre optique Amateur, premier résultat

Contraste des franges

sur étoile double

Gamma



$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{\sqrt{I_1^2 + 2I_1I_2 \cos\left(\frac{2\pi\nu\theta B}{\lambda}\right) + I_2^2}}{I_1 + I_2}$$

I_1 Luminosité de la composante 1

I_2 Luminosité de la composante 2

θ séparation du couple

B l'écartement des ouvertures

λ La longueur d'onde considérée

écartement en "

- 0,1
- 0,2
- 0,3
- 0,4
- 0,5

Si $I_1 = I_2$ alors :

$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \left| \cos\left(\frac{\pi\theta B}{\lambda}\right) \right|$$

Pour les étoiles doubles, l'interféromètre e

$$\gamma = 0 \Rightarrow \theta = \frac{\lambda}{2B}$$

La source est résolue pour gamma = 0

Amateur Interféromètre optique Amateur, premier résultat



Point en cours : Automatiser la manip

Amateur Interferomètre optique Amateur, premier résultat



Le système complet lors d'un run d'acquisition des « courtes



Trouver un hébergeur ?

AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Perspective : Poutre de Pease en alt-azimuthal

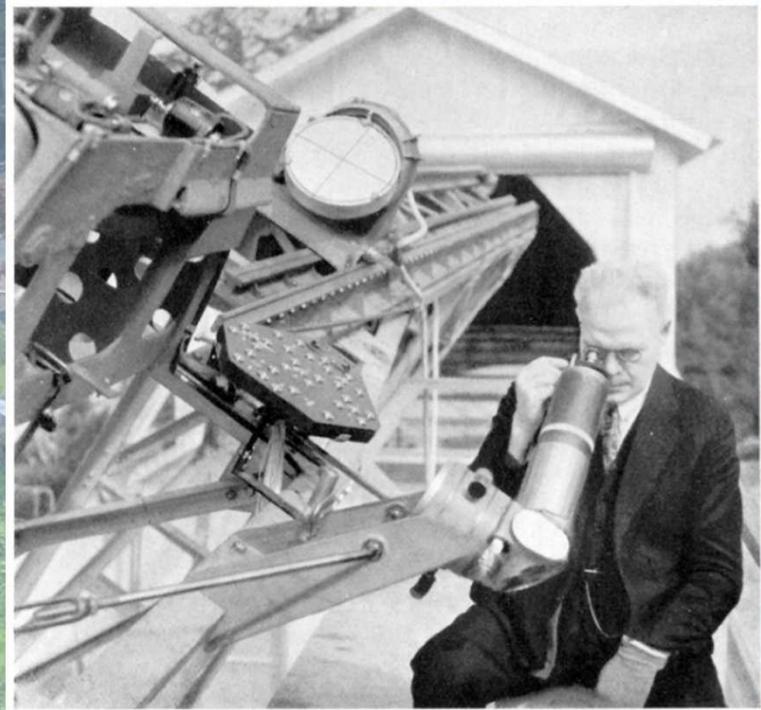


Abb. 9. Upper part of interferometer showing control board and observer at eyepiece.

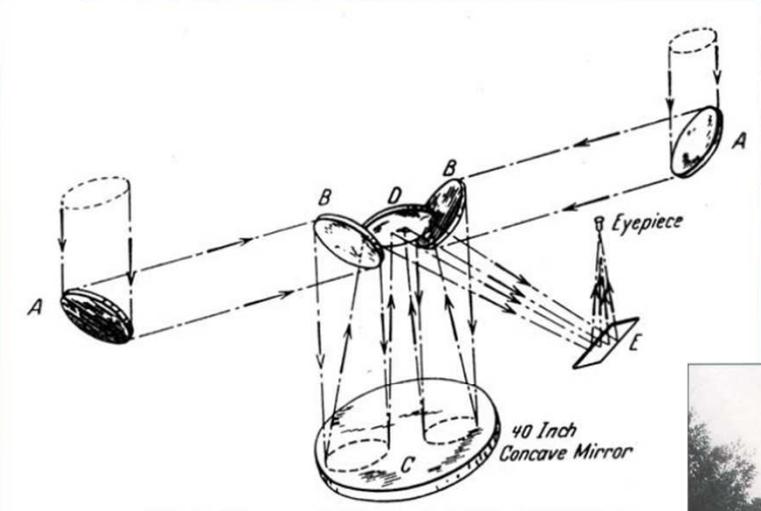


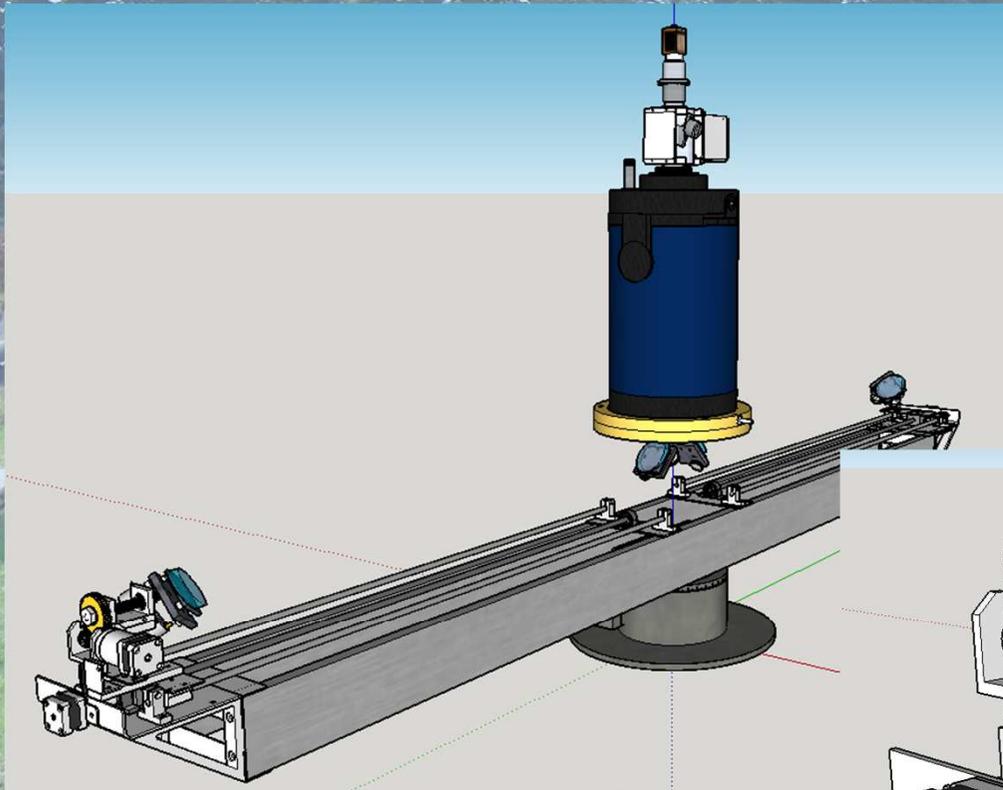
Abb. 8. Diagram of light path in 50 foot interferometer.



Les techniques d'asservissement alt-azimuthal actuelle permettent d'améliorer

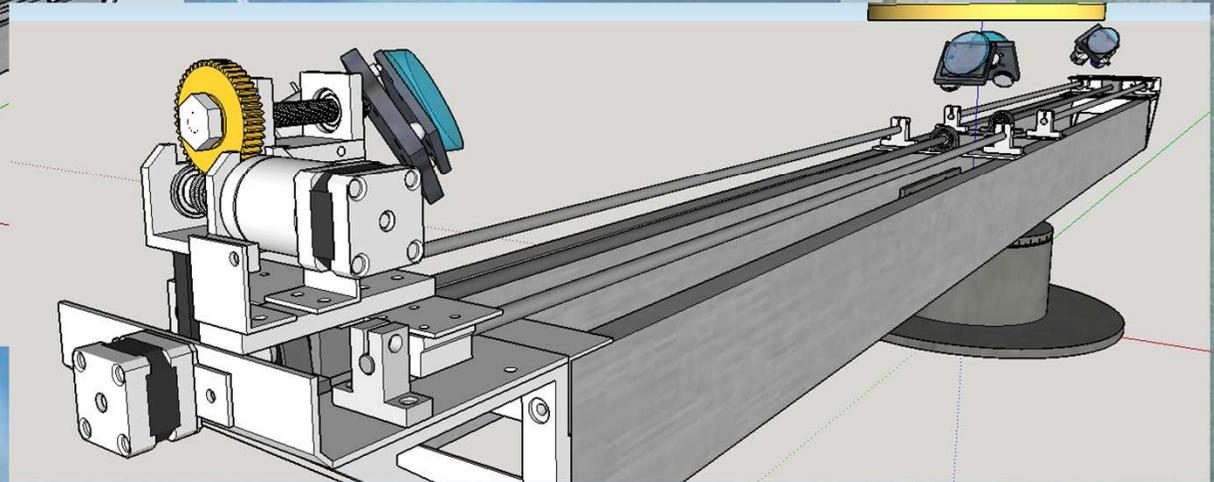
ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Perspective : Poutre de Pease en alt-azimuthal



Modélisation de la version 2

Écartement maximum : 2m



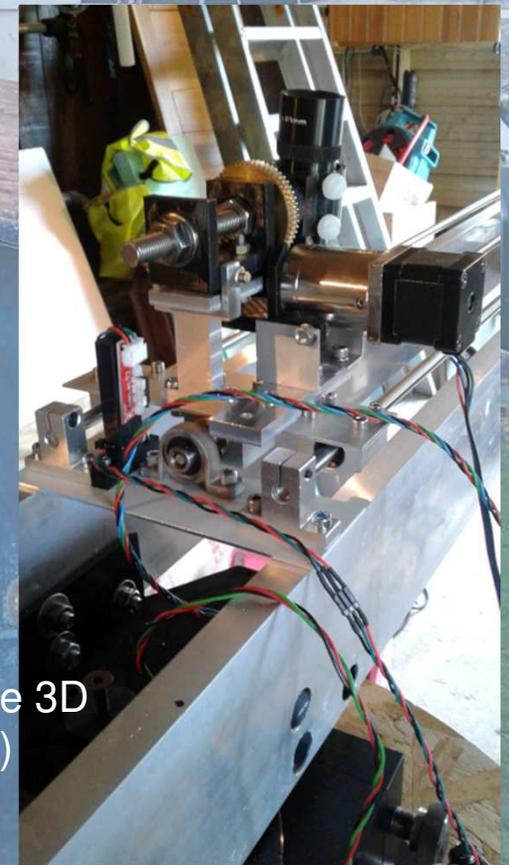
AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Perspective : Poutre de Pease en alt-azimuthal



Réalisation de la version 2 :
.Rail de commande de distance d'imprimante 3D
.Commande 5 moteurs (Az, Ha, Ecartement)



Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

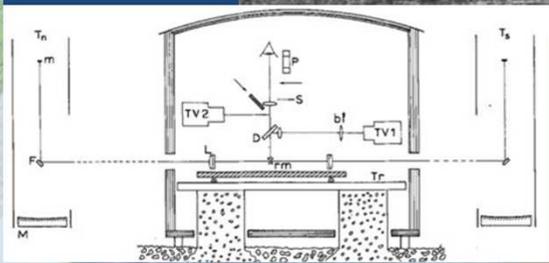
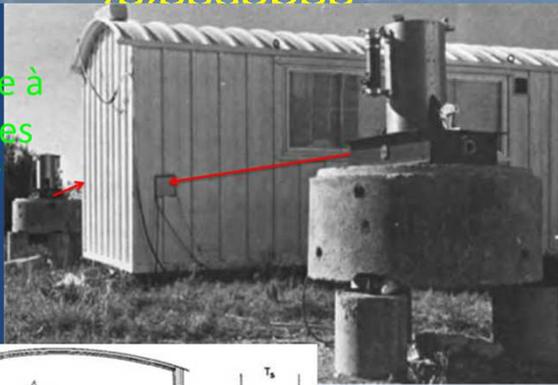


• Rappels historiques



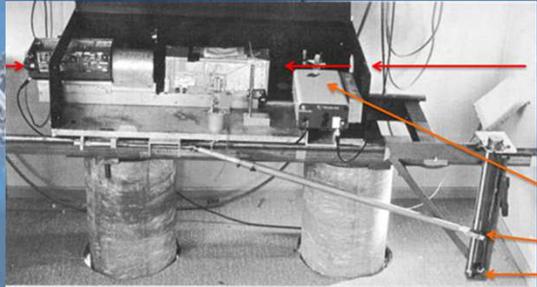
LABEYRIE, Antoine
 1974 Mise en œuvre de
 l'interférométrie à 2
 télescopes

Premier
 interféromètre à
 deux télescopes
 Observatoire de Nice
 (1974)



Crédit A. Labeyrie

I2T: combineur de faisceaux
 Nice 1974, puis Calern



premières interférences
 à deux télescopes (Véga,
 base 12m, 1974)

caméra à comptage de
 photons
 bras et came
 d'entraînement de la table

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 196:L71-L75, 1975 March 1
 1975. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

Crédit A. Labeyrie

INTERFERENCE FRINGES OBTAINED ON VEGA WITH TWO OPTICAL TELESCOPES

ANTOINE LABEYRIE
 Observatoire de Paris, 92190-Meudon, France

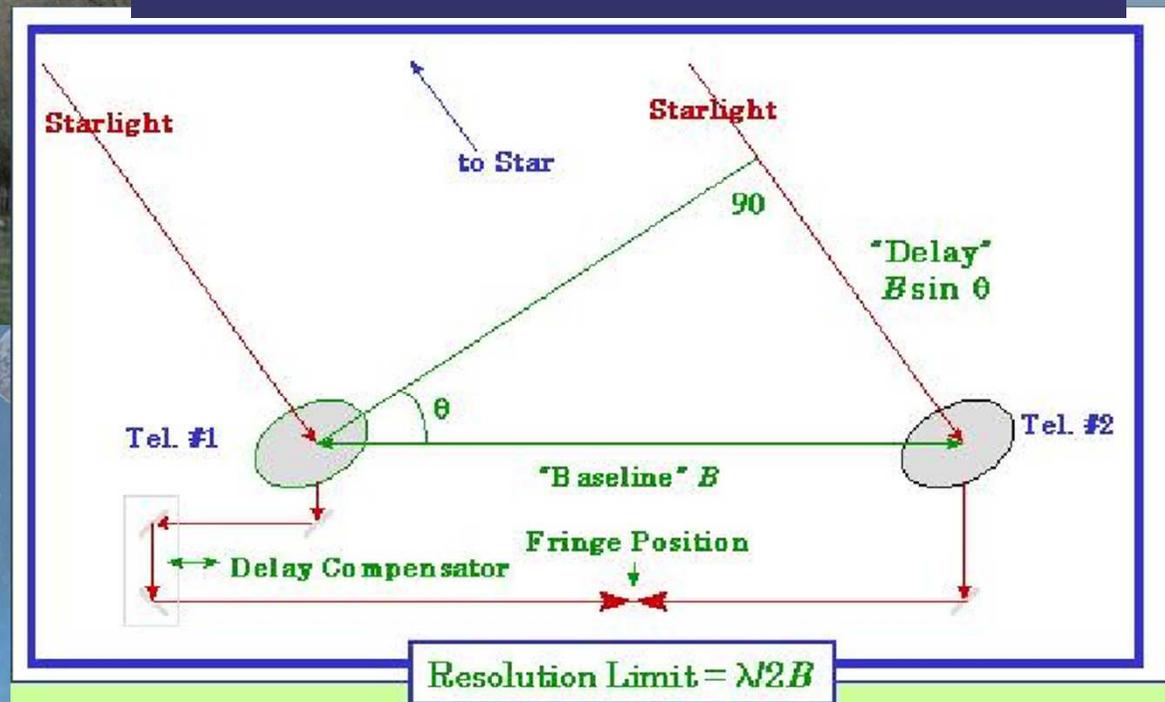
AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



- Perspective : couplage entre Télescopes

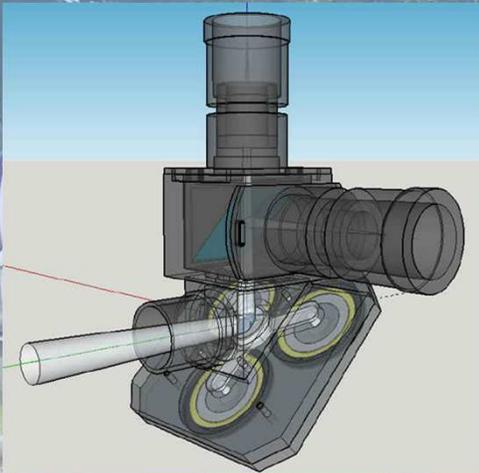


Réflexions sur la suppression des lignes à retard :
Utiliser les passages au méridien et les techniques mises

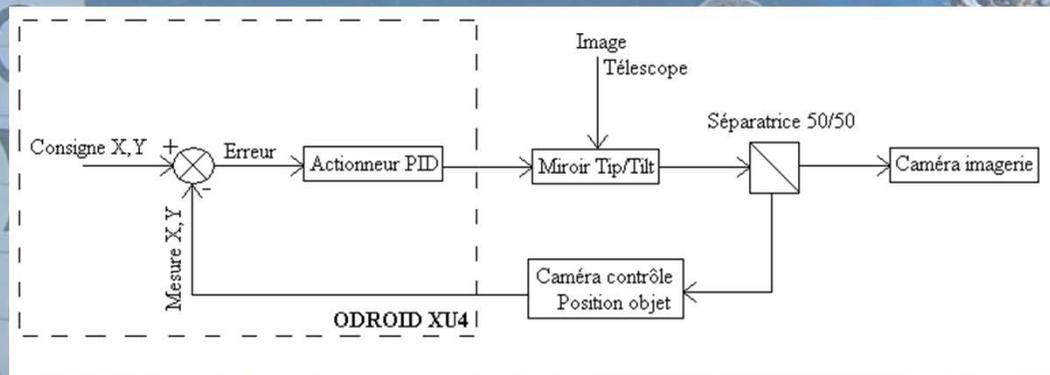


AT&O Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat

- Perspective : couplage entre Télescopes



Premier Step de franchi : l'injection fibre.



ATSO Premier Interféromètre optique Amateur, premier résultat



rometteur mais toute aide sera la bienvenue.

Merci de votre attention

<http://btregon-astro.org>

btregon@club-internet.fr