

Very Large Telescope Interferometer: son état actuel, les premières franges, les développements futurs et ses objectifs scientifiques

Françoise Delplancke
avec les contributions de:
Andreas Glindemann
Bertrand Koehler
Pierre Kervella

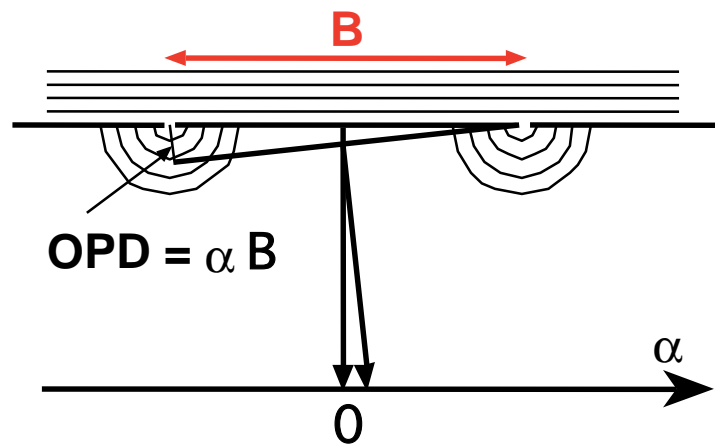
et toute l'équipe du VLTI et de Paranal



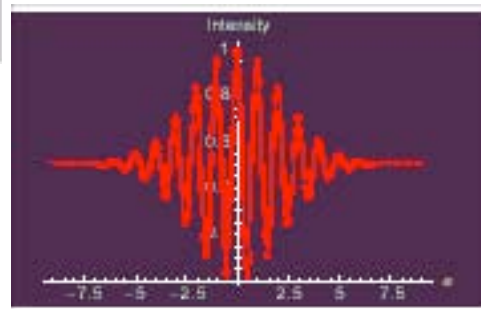
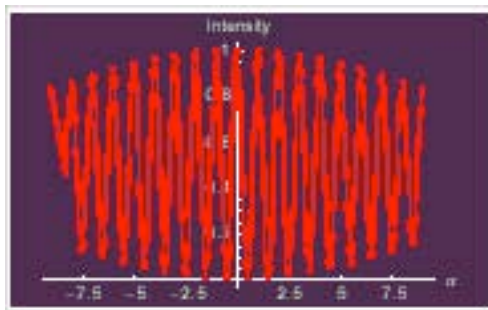
Plan

- Principes de l'interférométrie et du VLTI:
 - interféromètre de Michelson
 - visibilité, plan u-v, imagerie, astrométrie
 - recombinaison optique
 - turbulence atmosphérique
- Structure du VLTI: éléments présents et futurs
- Premières franges
- Objectifs scientifiques

Expérience de Young

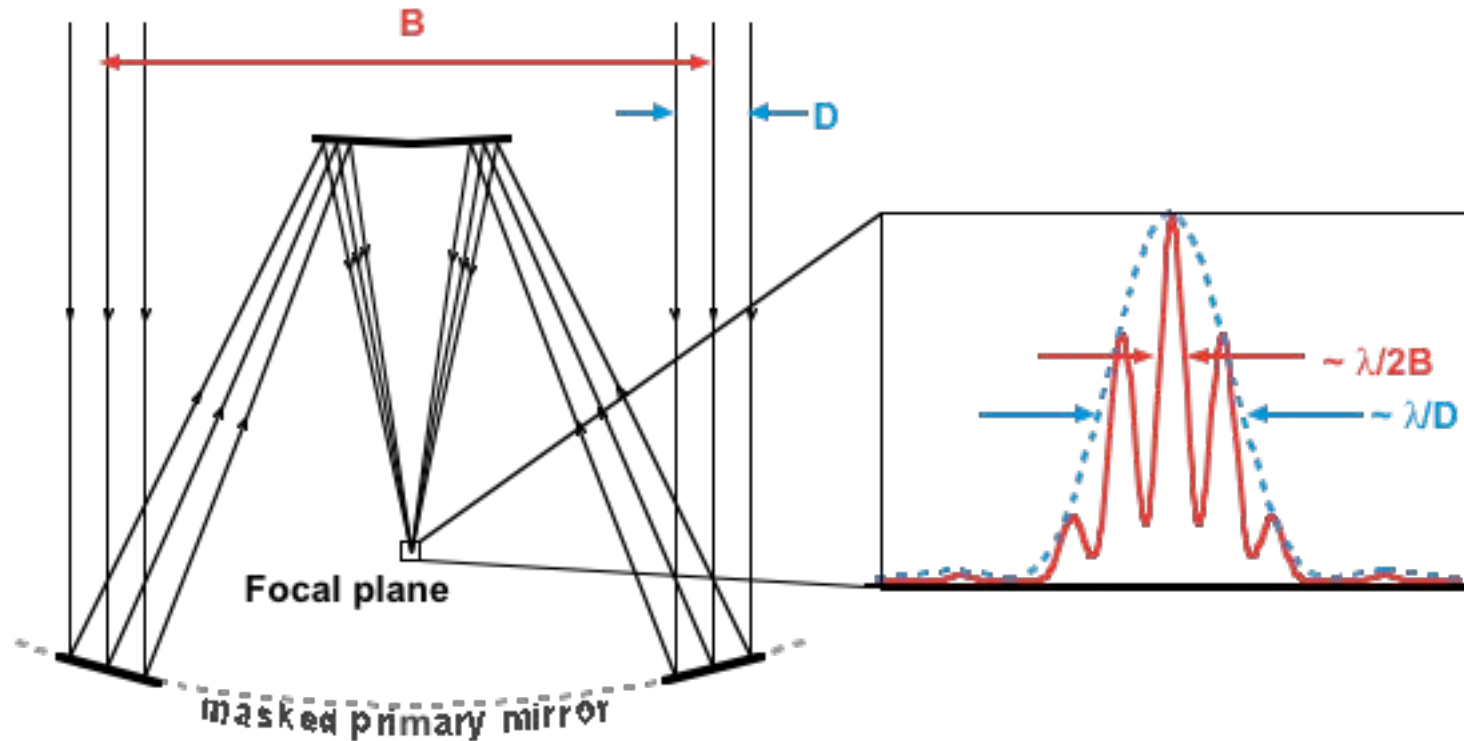


1er Min: $OPD = \lambda/2 \Rightarrow \alpha_{\min} = \lambda/(2B)$



- Source à l'infini, à $\alpha = 0$
- Intensité varie en $\sim 1 + \cos$ en fonction de α , période: λ/B
- $OPD \Rightarrow$ longueur de cohérence \Rightarrow les franges disparaissent
- Source à un angle α_0 \Rightarrow les franges se déplacent

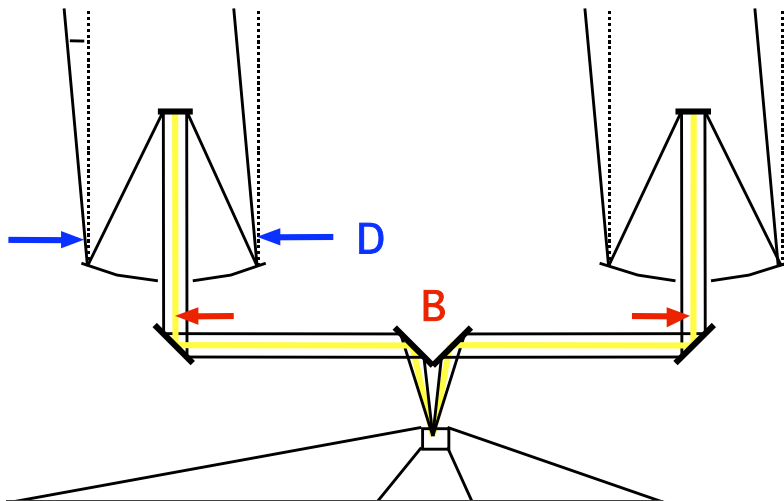
Télescope masqué



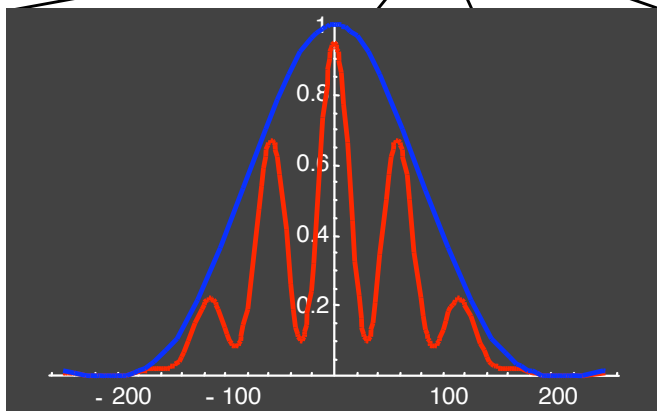
- Masque => sélection d'une "ligne de base" particulière.
- Image au foyer = superposition des franges de toutes les bases

Interféromètre stellaire de Michelson

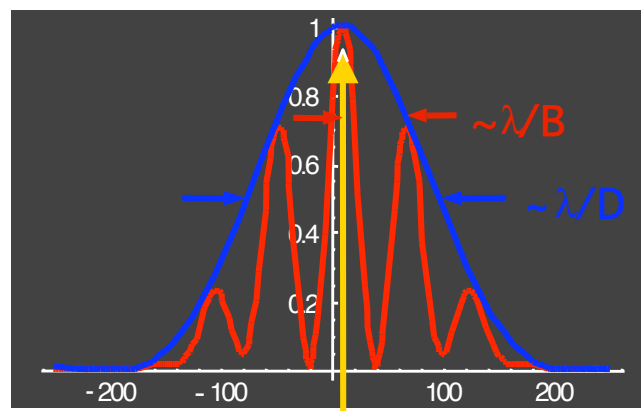
$\alpha_0/2$



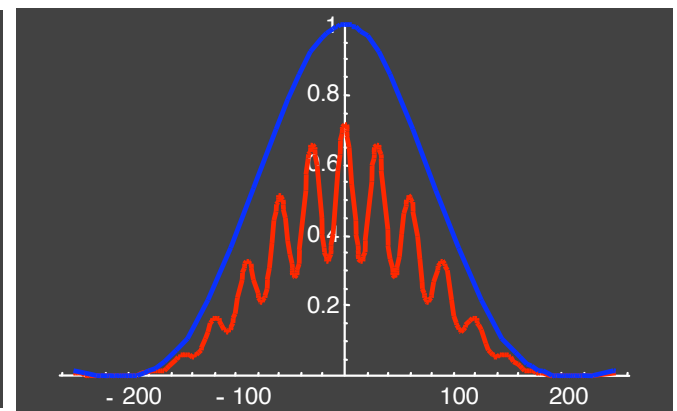
- Source de diamètre angulaire α_0
- Sommer les franges (intensité) entre $\pm\alpha_0/2$
- => franges avec un contraste réduit (fonction de B et de α_0)



$\alpha=0$



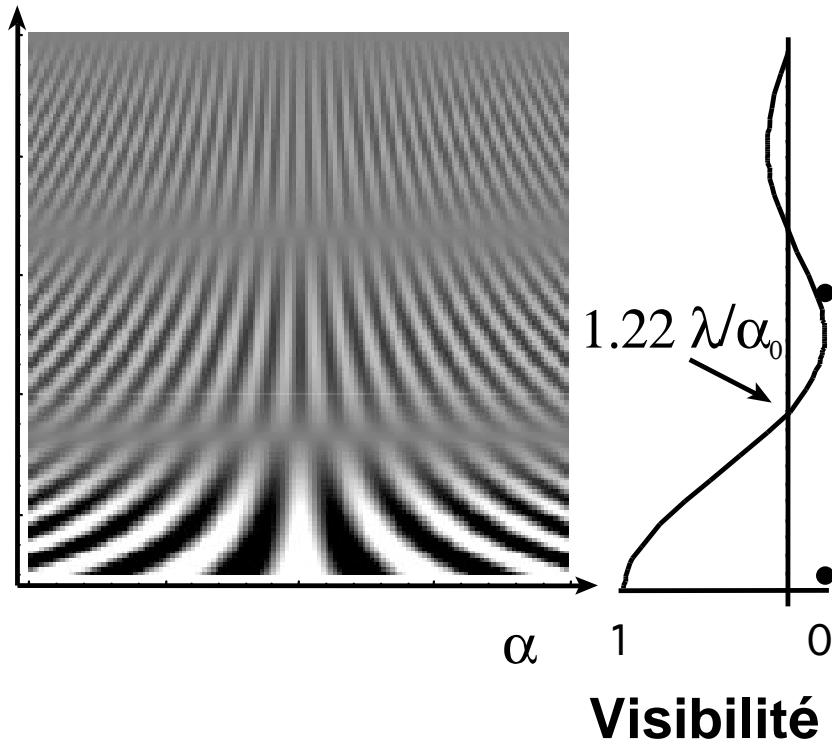
$\alpha=\alpha_0/2$



total

Fonction de visibilité

Ligne de base [m]



- Les franges dépendent de B , de la forme de l'objet (distribution d'intensité) et de la longueur d'onde (spectre):

$$\text{Visibilité}(B/\lambda) = \mathcal{T}\mathcal{F}(I(\alpha))$$

- Objet = cercle uniforme =>

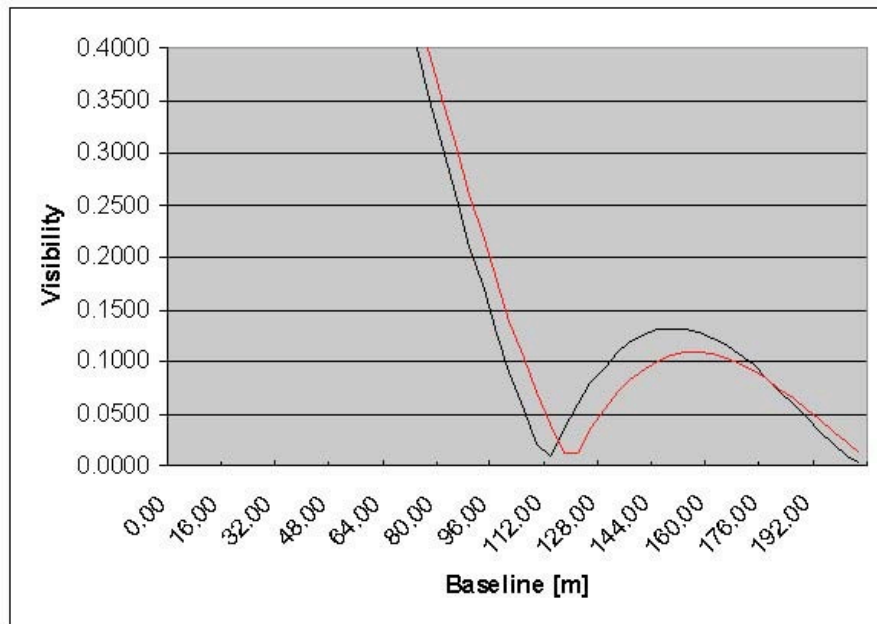
$$I(\alpha) = \text{Circ}(\alpha/\alpha_0)$$

$$\text{Vis}(B) = \text{Besinc}(\pi\alpha_0 B/\lambda)$$

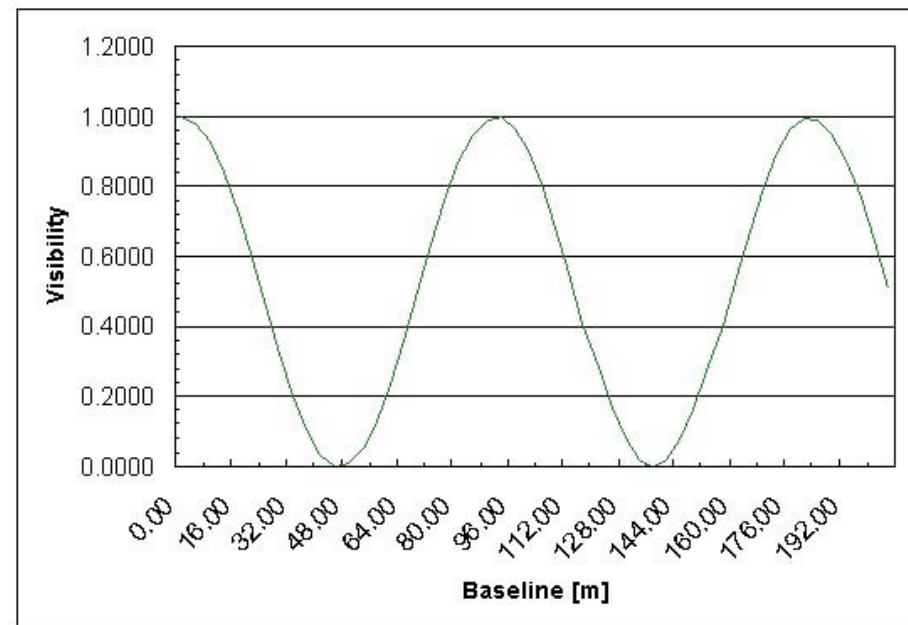
- Objet quelconque => visibilité complexe
 - module = contraste des franges
 - phase = position de la frange blanche (élément essentiel pour l'imagerie)

Exemples de fonctions de visibilité

Disque uniforme + effet de bord:
(diamètre 5 milliarcsec)



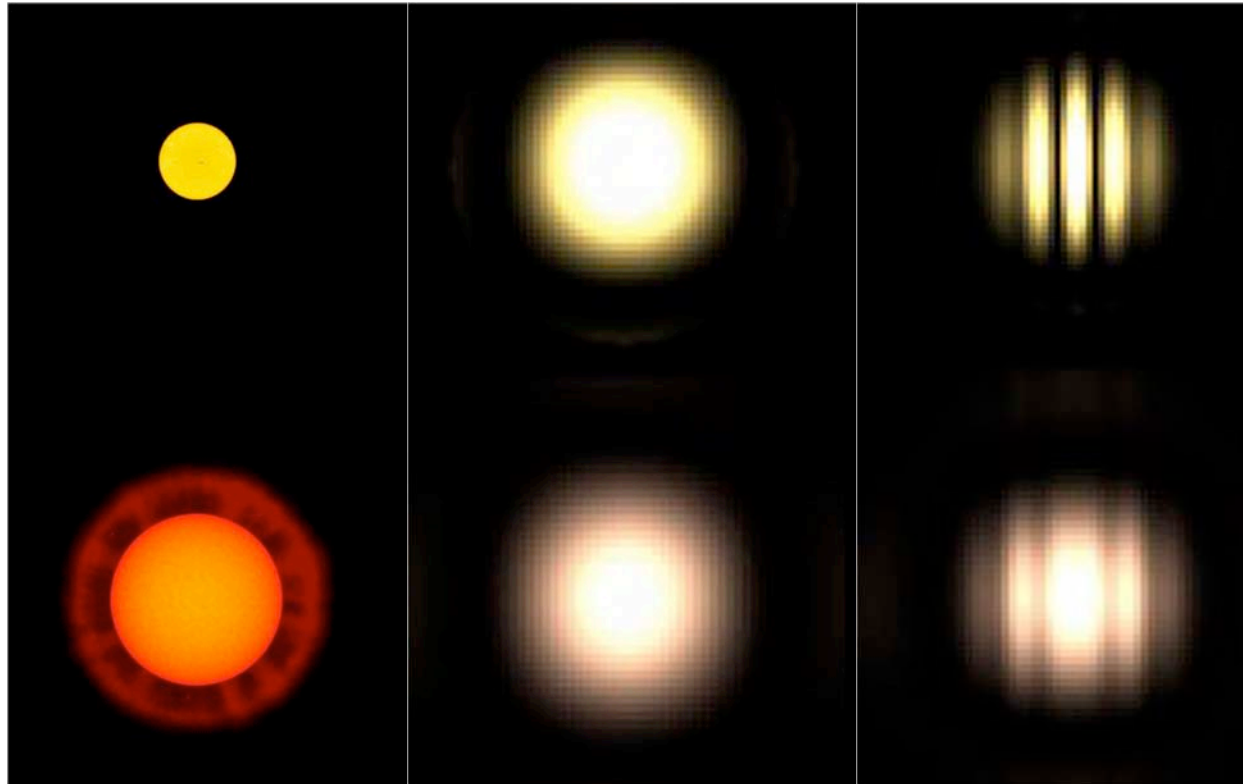
Etoile double:
(séparation 5 milliarcsec)



Note: ne pas confondre
cette fonction cos avec les
franges

Quel est l'avantage de l'imagerie interférométrique?

“Petite”
étoile



“Grosse”
étoile

Objets

Télescope simple

Franges

$$I_{\text{im}}(\alpha) \sim \mathcal{F}(D)$$

$$I_{\text{im}}(\alpha) \sim \mathcal{F}(B)$$

Résolution angulaire: $\sim \lambda/D$

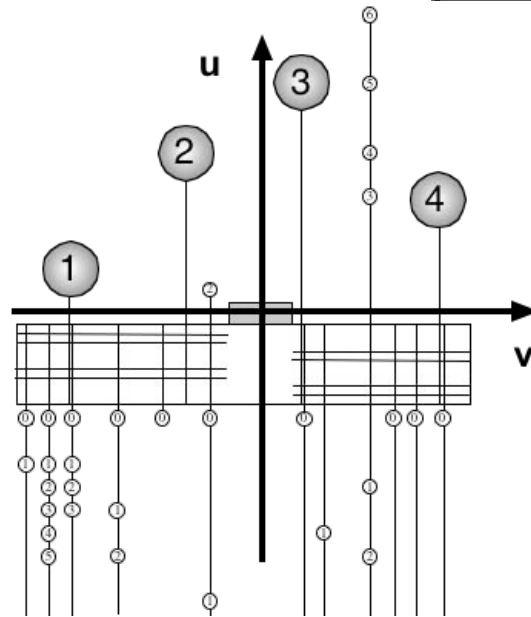
$\sim \lambda/B$

Imagerie

- Intensité de l'image: $I_{im}(\alpha) = \mathcal{TFI}(\Gamma(u_1 - u_2))$,
avec $u_1 - u_2 =$ vecteur de ligne de base et $\Gamma =$ visibilité complexe
- Le remplissage du plan $u-v$ détermine la régularité de l'image reconstruite

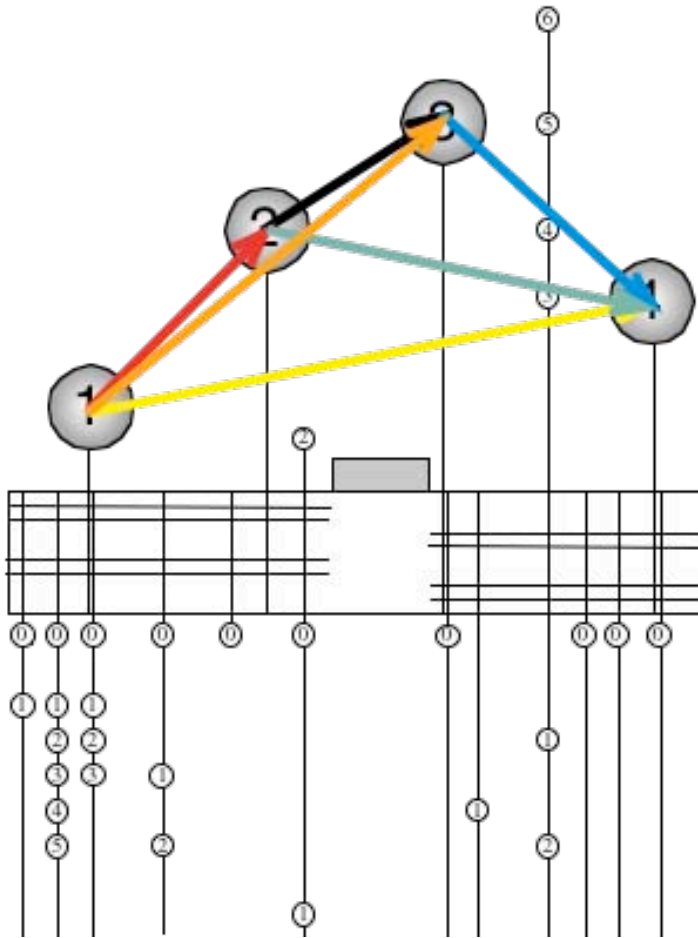
=> mesurer la visibilité et la phase pour de nombreux $u_1 - u_2$

Note: Ceci

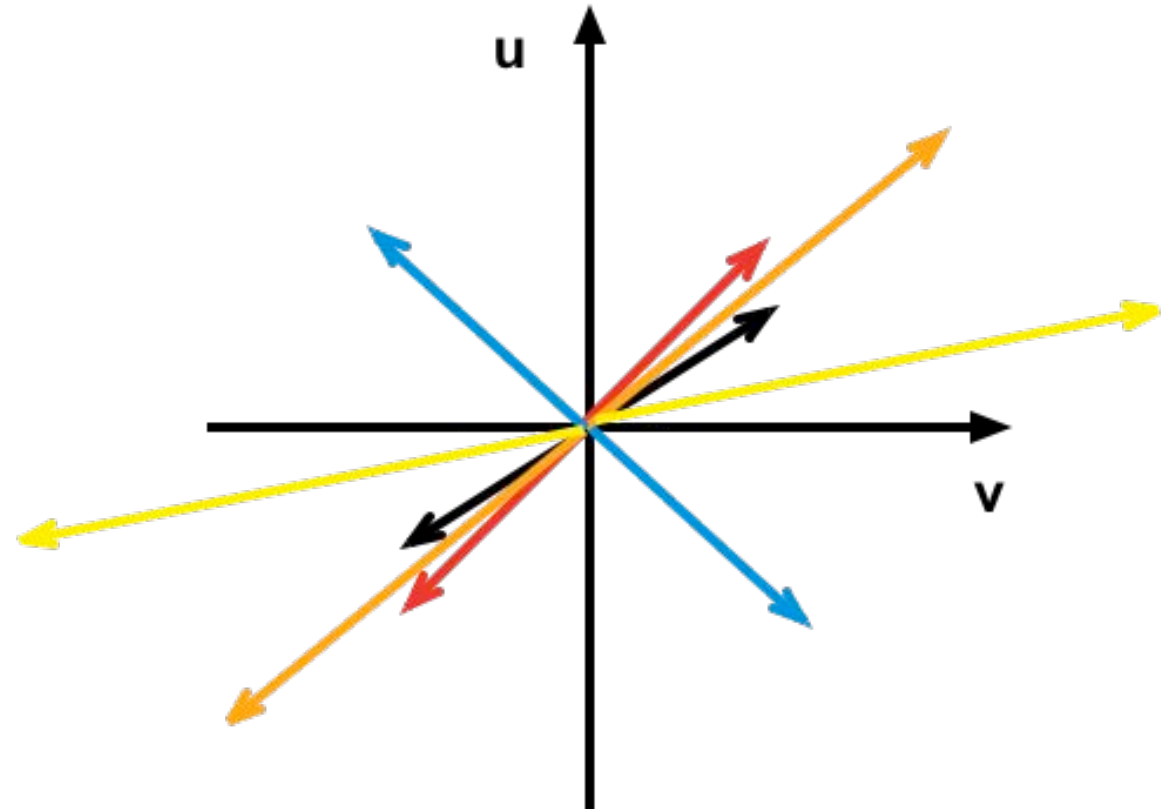


n'est PAS le plan $u-v$!

Le plan u-v du VLTI

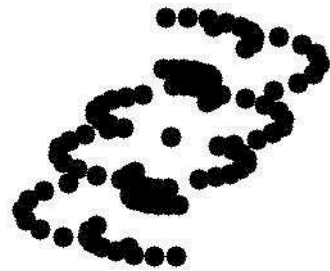


Ceci est le plan u-v:

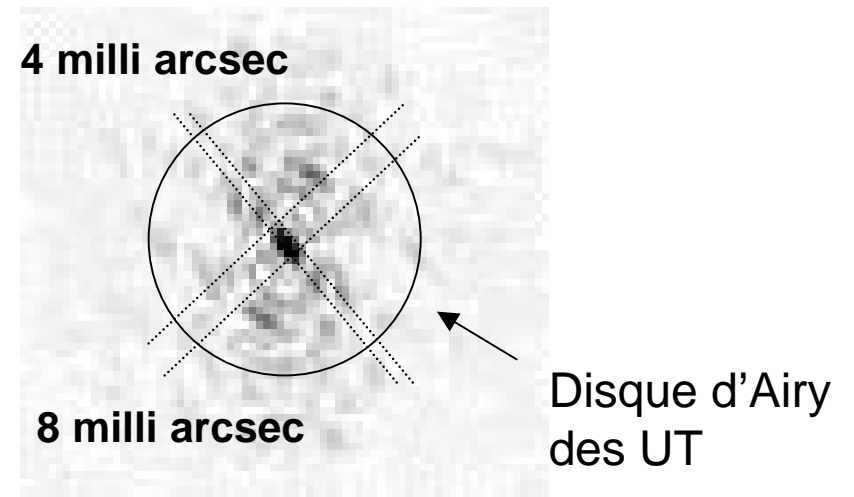


pour un objet au zénith. Sinon, la projection de la ligne de base doit être utilisée.

Le plan uv avec les UTs



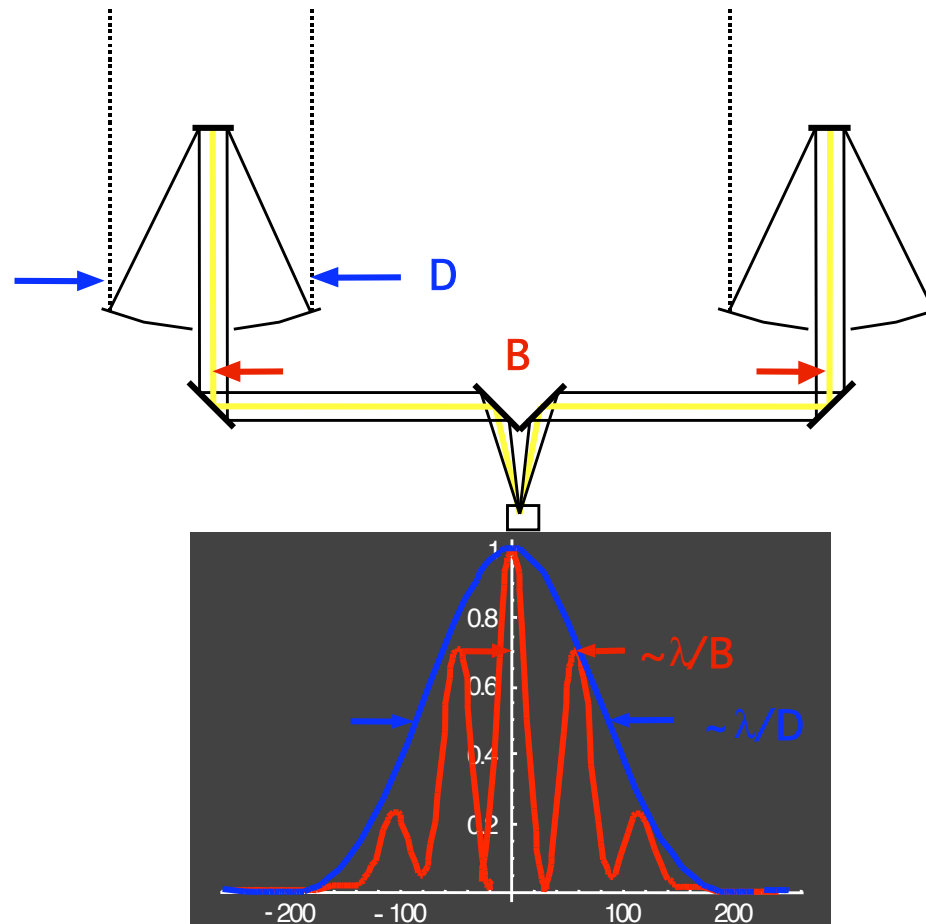
Couverture uv pour un objet à -15° et 8h d'observation avec tous les UTs



PSF reconstruite par transformée de Fourier de la visibilité à $\lambda = 2.2\mu\text{m}$ (bande K)

Franges spatiales (AMBER)

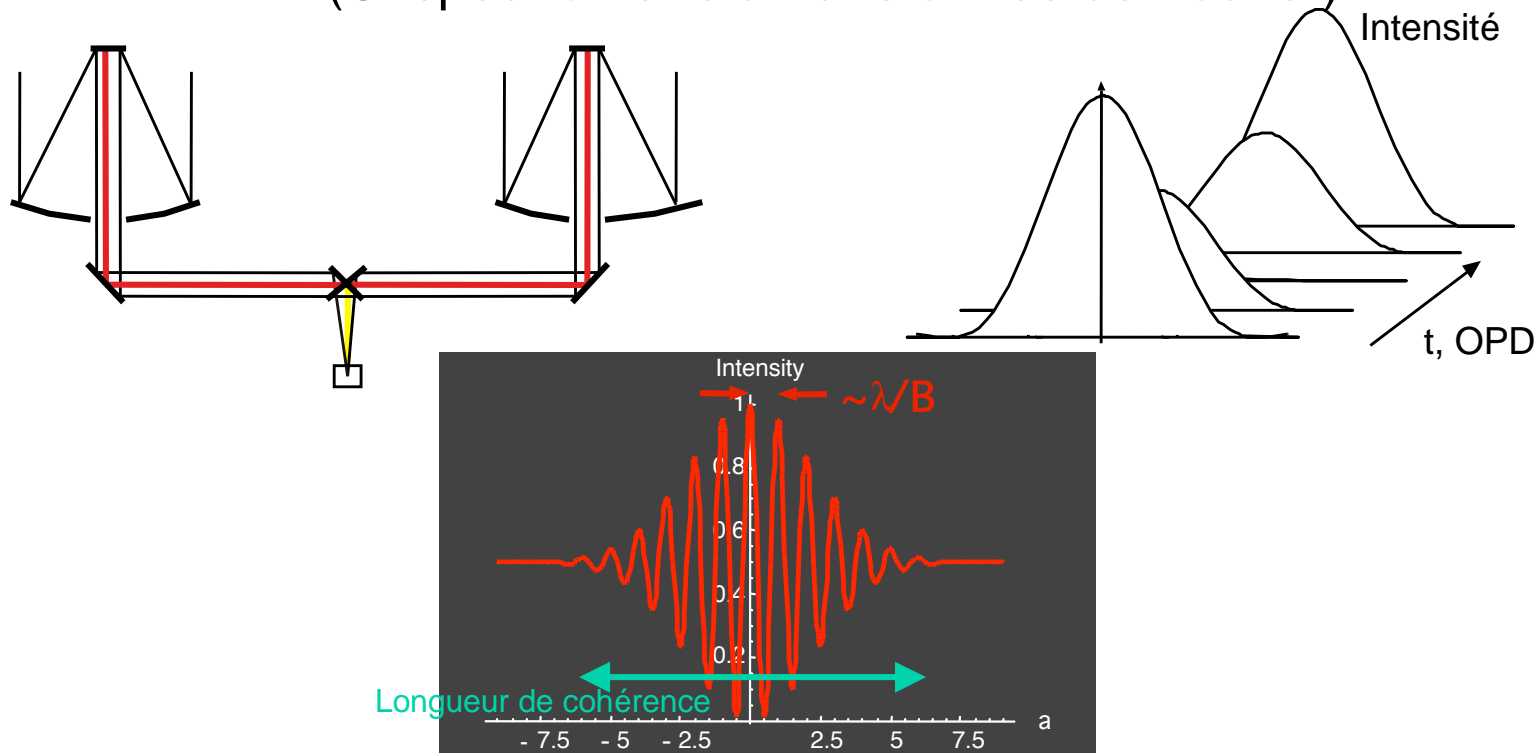
- Michelson => combinaison multi-axiale => franges spatiales enveloppées par un disque d'Airy



Franges temporelles (VINCI, FINITO)

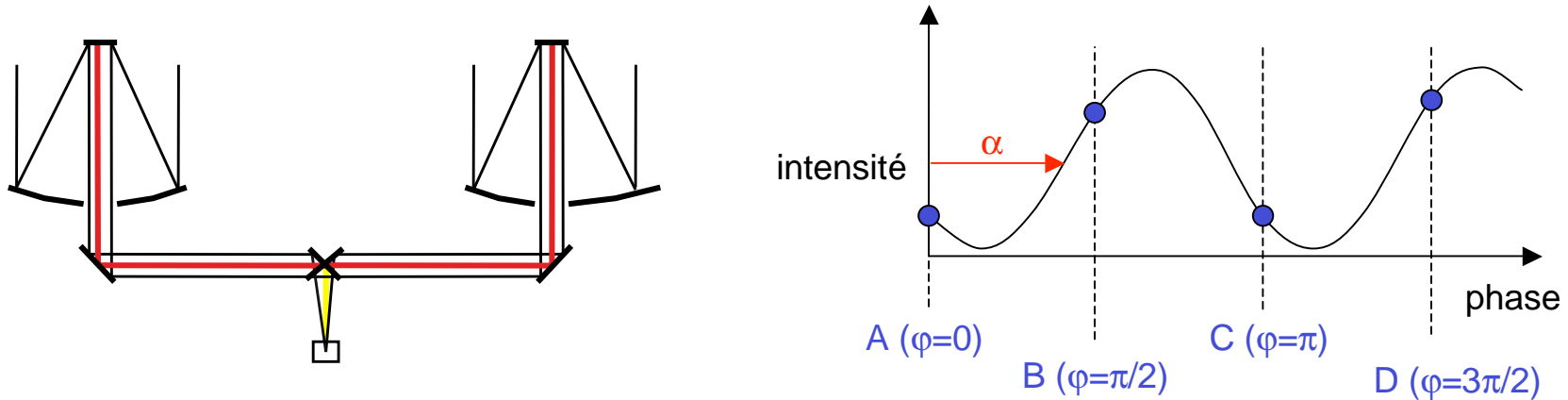
- Combinaison co-axiale => tache d'Airy uniforme (intensité = fonction de l'OPD)
- avec modulation temporelle de l'OPD => intensité variant au cours du temps =>

franges temporelles enveloppées dans
la transformée de Fourier du spectre de l'étoile
(Cf spectromètre à transformée de Fourier)



Franges discrètes (ABCD) (MIDI, PRIMA)

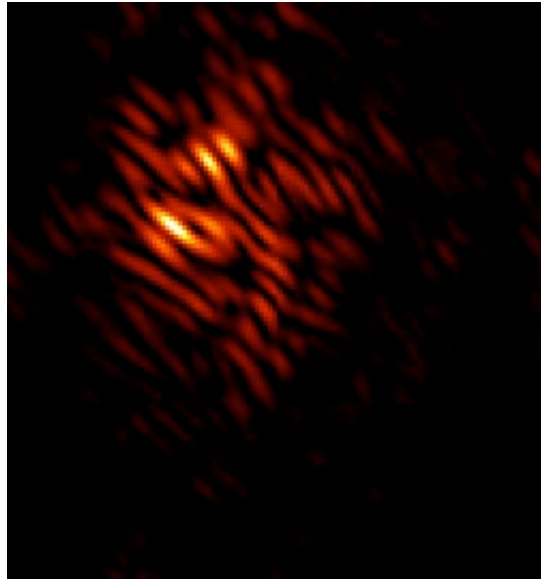
- Combinaison co-axiale => tache d'Airy uniforme
- Sauts discrets de phase ($0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$)



- 4 pixels de détection => A, B, C, D => fit d'une courbe:
$$1 + |V| \cdot \cos(\alpha + \varphi)$$

=> visibilité ($|V|$) et phase (α)
- + dispersion chromatique (éventuellement)

Turbulence atmosphérique - qualité d'image



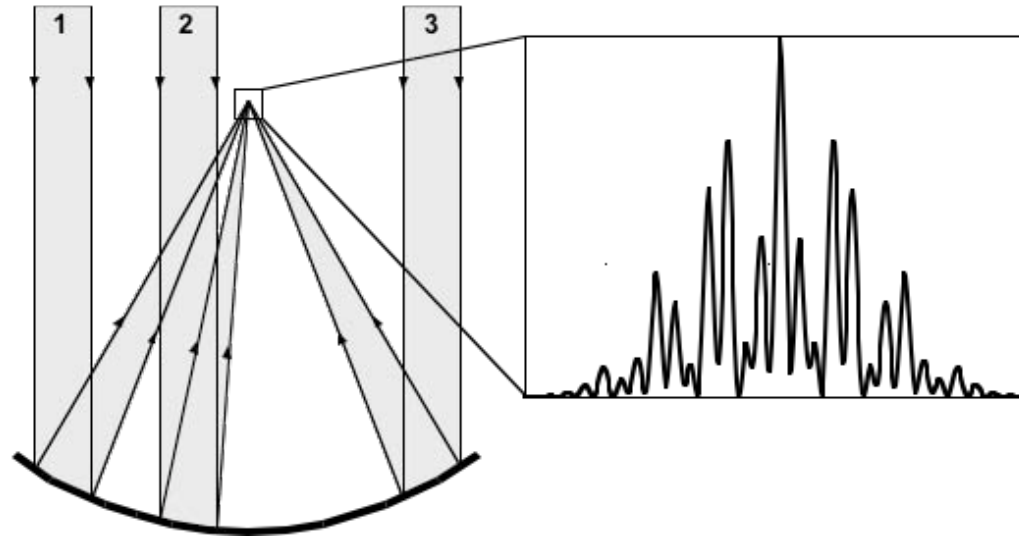
Franges spatiales pour
2 UTs à $2.2 \mu\text{m}$
avec un seeing de $0.5''$

- **But:** Mesurer le contraste et la position des franges malgré les tavelures et leur variation rapide au cours du temps
- **Nécessite:**
 - petite taille de pixel (1- 10 milli arcsec) + court temps d'intégration (~ 10 msec) ou
 - filtrage spatial et / ou
 - optique adaptative
- **Note:** La résolution angulaire ne dépend que de la longueur de la base. Toute amélioration de la qualité d'image n'affecte que la sensibilité.

Turbulence atmosphérique - Piston

- Piston non corrigé (non mesuré) par l'optique adaptative
=> temps d'exposition limité à environ 10 msec (dépend de λ)
- Solution:
Etoile brillante pour suivre les franges et les stabiliser
Intégration des franges sur l'objet scientifique
- Concept similaire à l'optique adaptative
Un interféromètre ne peut pas observer des objets faibles sans suiveur de franges !
- Le piston perturbe aussi la phase (les franges dansent)
=> problème pour l'imagerie et l'astrométrie =>
 - clôture de phase ou
 - référence de phase

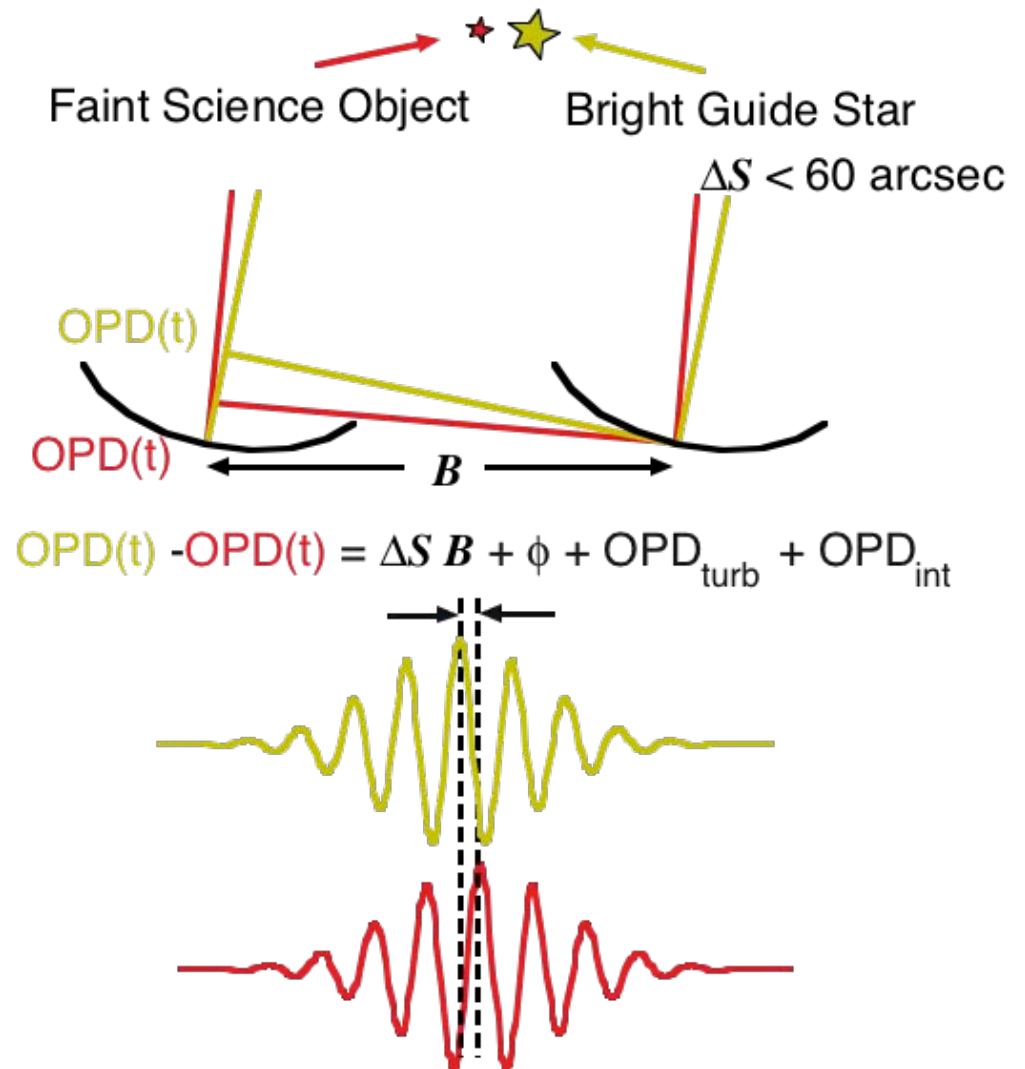
Clôture de phase (AMBER)



- Trois lignes de base (B'_{12} , B'_{23} , B'_{13}) produisent 3 fréquences spatiales différentes dans les franges => séparation des fréquences individuelles dans l'espace de Fourier
- La somme des 3 phases (3 lignes de base) est indépendante de la turbulence atmosphérique.
- Répétition sur un grand nombre de bases => phases individuelles

Référence de phase - PRIMA

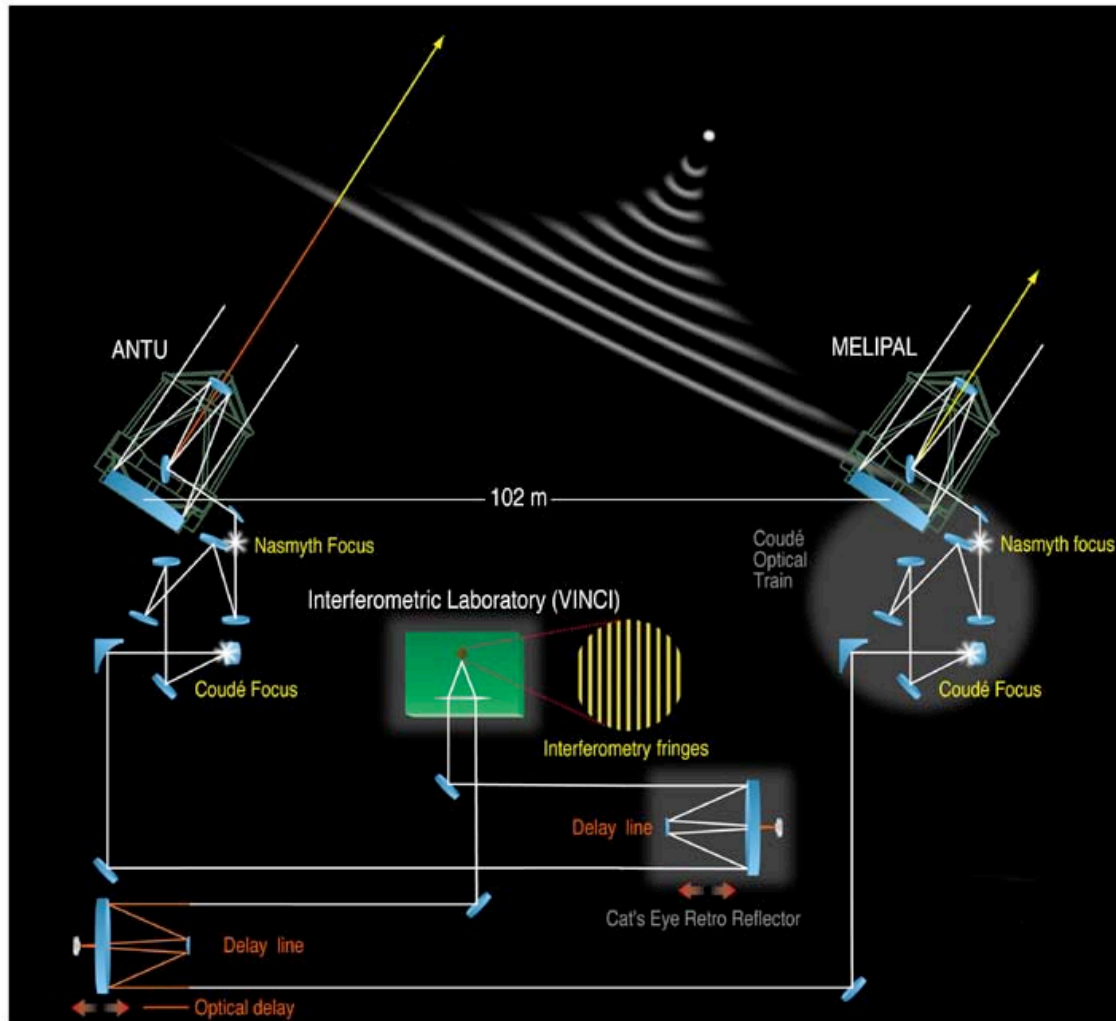
- Prélever 2 étoiles dans un champ de 2 arcmin
 - étoile brillante de référence
 - objet scientifique faible
- OPD_{int} mesuré avec une métrologie laser
- OPD_{turb} moyenné sur un temps long
- $\Delta S B + \phi$ mesuré par les instruments interférométriques
- $\Delta S \Rightarrow$ astrométrie,
- $\phi \Rightarrow$ imagerie



Composants d'un interféromètre

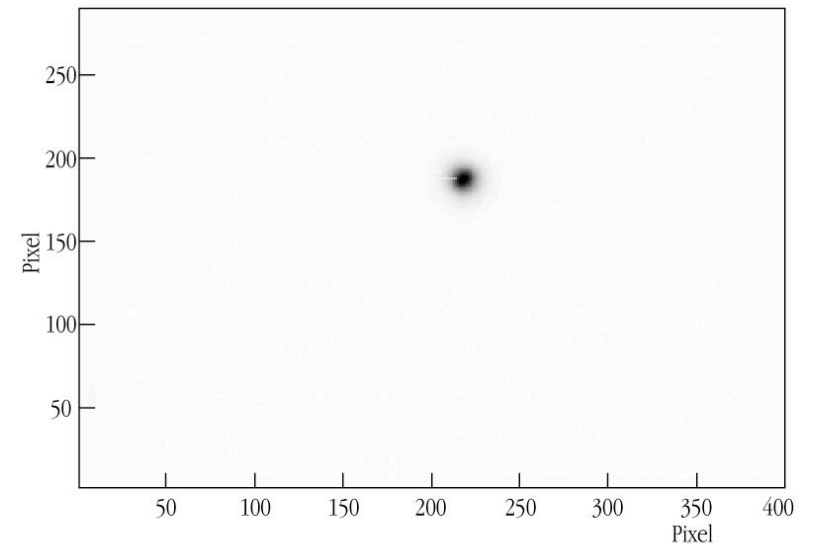
- Télescopes
- Optiques de relai et de transfert
- Optique adaptative
- Lignes à retard
- Instruments:
 - VINCI (+ Leonardo),
 - MIDI,
 - AMBER,
 - FINITO (suiveur de franges),
 - PRIMA (suiveur de franges hors axe + référence de phase)
- Système de contrôle
- Outils de préparation d'observations et de traitement des données

Schéma optique général



The VLT Interferometer with ANTU and MELIPAL

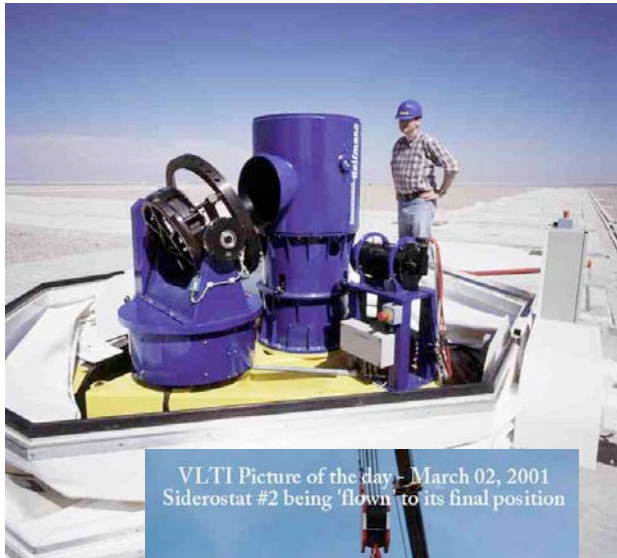
- 25 miroirs, 28 réflexions entre le ciel et l'instrument
- jusqu'à 200m de base et 350m de chemin optique
- => haute qualité optique + complète automatisation



"Joint" Stellar Light from ANTU and MELIPAL at VLT Focus
(FWHM = 0.45 arcsec)

Télescopes

Sidérostats (2)
simples et stables
pour tests

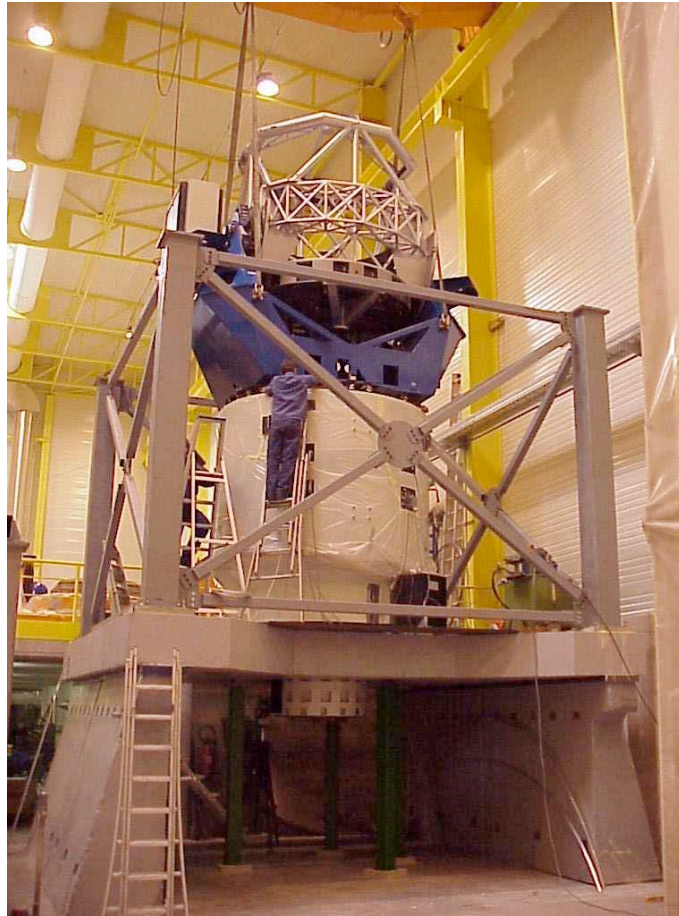


VLTI Picture of the day - March 02, 2001
Siderostat #2 being 'flown' to its final position

ESO PR Photo 10/01 (18 March 2001)



Télescopes auxiliaires (3)
à utiliser en permanence
"mini-VLT", relocalisables
2 fin-2002, 1 mi-2003



UT (4)
sensibilité



Optiques de relai et de transfert (1)

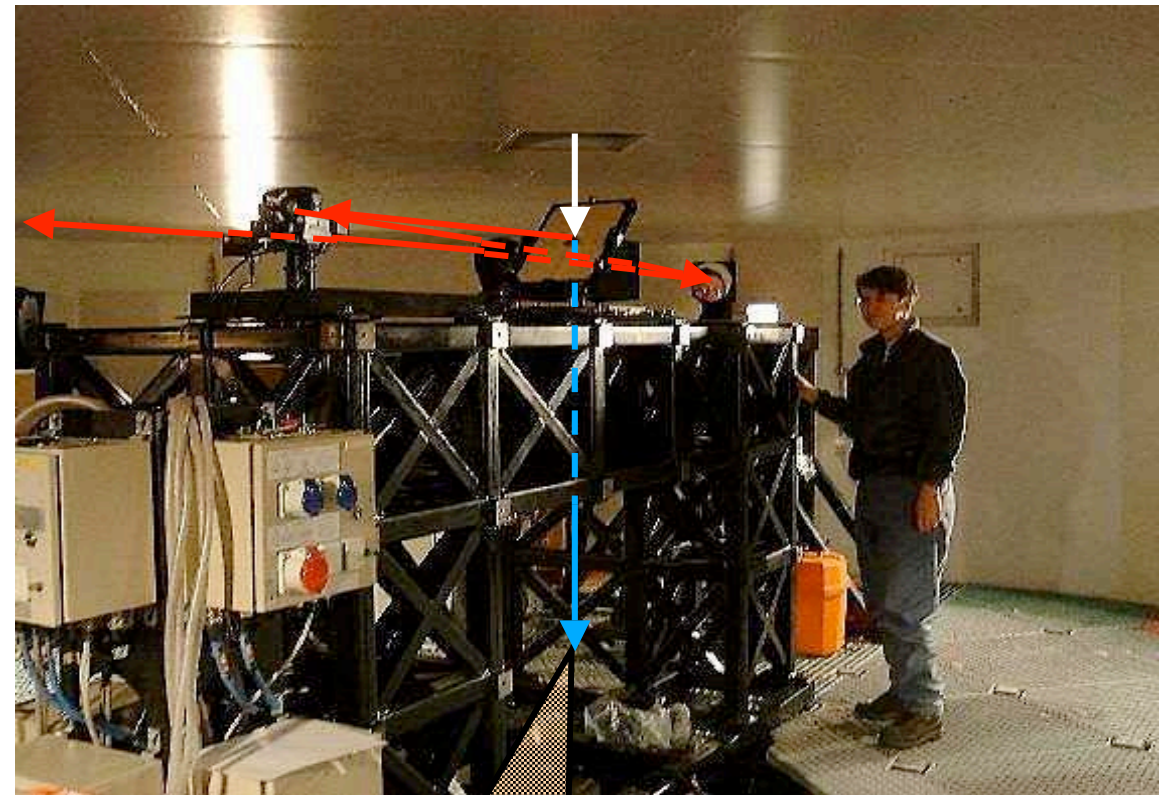
Train Coudé

(2 équipés, 2 autres mi-2002)



Relai Coudé

(2 équipés, 2 autres mi-2002)



Location for STRAP/ MACAO
Wave Front Sensor

Optique de relai et transfert (2)

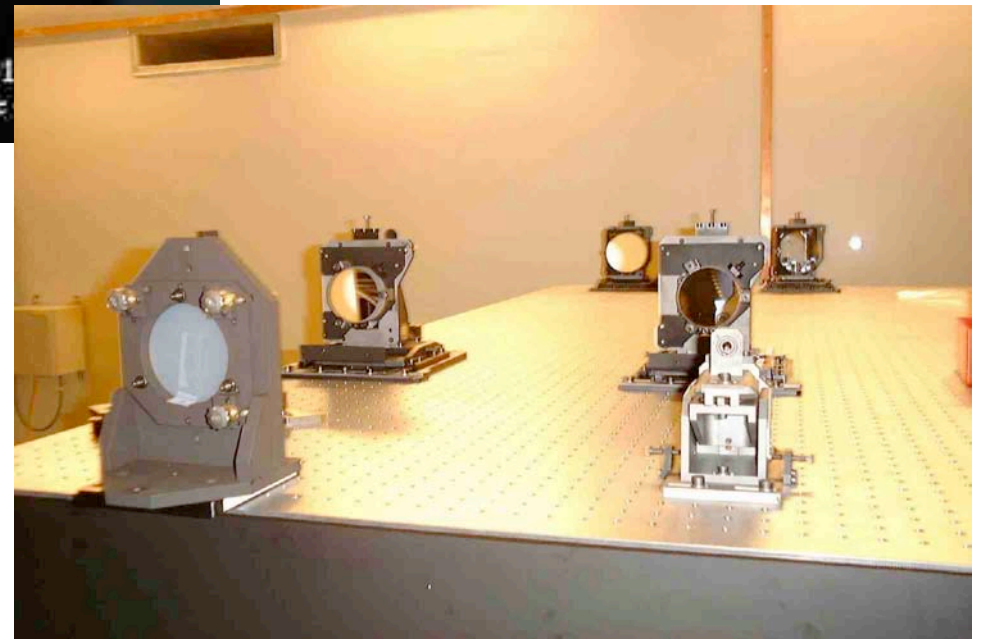
M12



M16

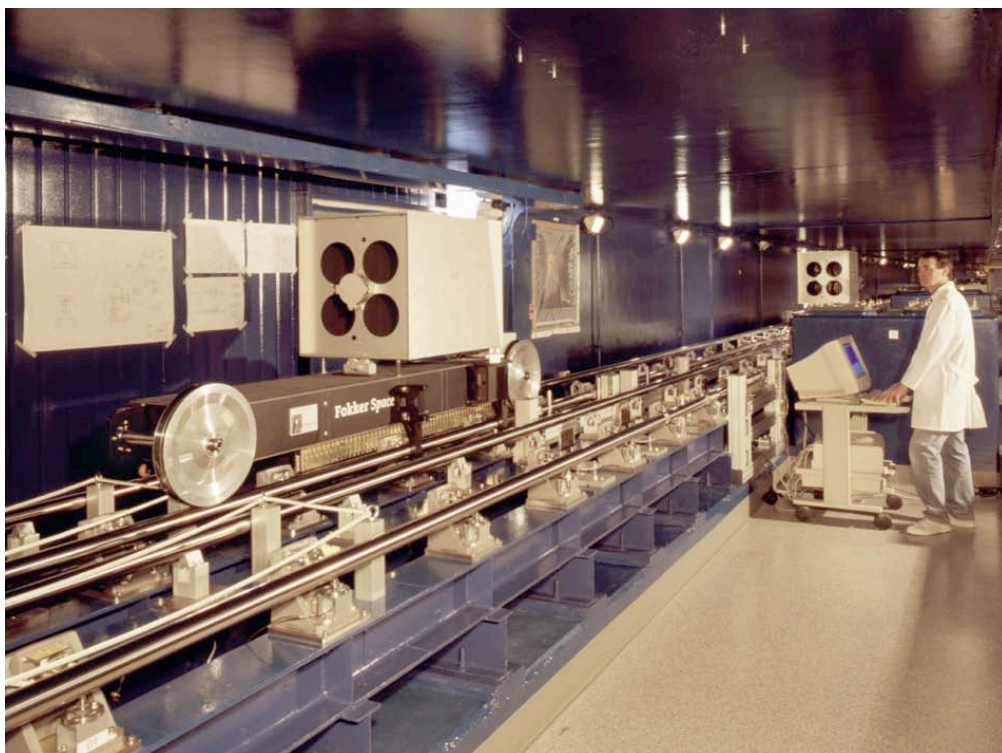


Compresseurs de faisceaux



Lignes à retard

- Font patienter les photons d'un bras de l'interféromètre
- Compensent la rotation terrestre
- Vitesse maximale de 5 mm/s avec une précision de 15 nm sur plus de 60 m.
- Utilisées pour la recherche des franges (sur $\sim 500 \mu\text{m}$)
- 3 installées + 3 autres (2003)



Delay Line Carriage in VLTI Tunnel

ESO PR Photo 10j/01 (18 March 2001)

© European Southern Observatory



VLTI Delay Lines in the Interferometric Tunnel

ESO PR Photo 26a/00 (11 October 2000)

© European Southern Observatory

