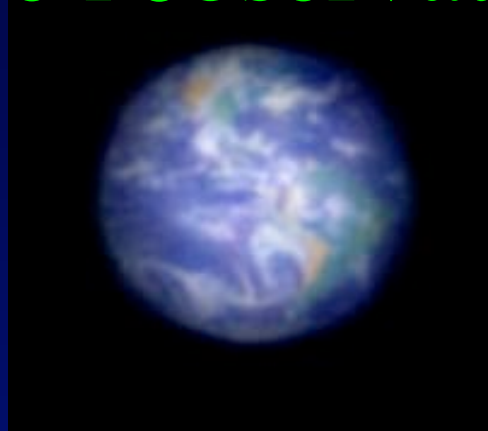


Collège de France

Chaire d' Astrophysique Observationnelle

Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Cours à Paris les mercredis du 31 Mars au 26 Mai
- Détails sur www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html
- les fichiers des projections seront affichés sur www.oamp.fr/lise

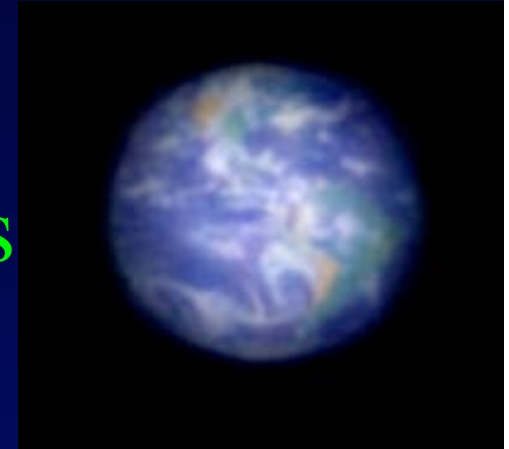
Programme

affiché sur: www.college-de-france.fr/

- 19 Mai :
 - Mise en cohérence et en phase des interféromètres et hypertélescopes: la méthode des tavelures dispersées
 - Séminaire: Pierre Kervella, Observatoire Européen Austral
"Premières observations de Céphéides avec l'interféromètre du VLT »
- 26 Mai
 - Mise en cohérence et en phase des interféromètres et hypertélescopes: la méthode des tavelures dispersées (suite)
 - Séminaire: à préciser

Aujourd'hui :

Mise en cohérence et en phase des
interféromètres et hypertélescopes:
la méthode des tavelures dispersées

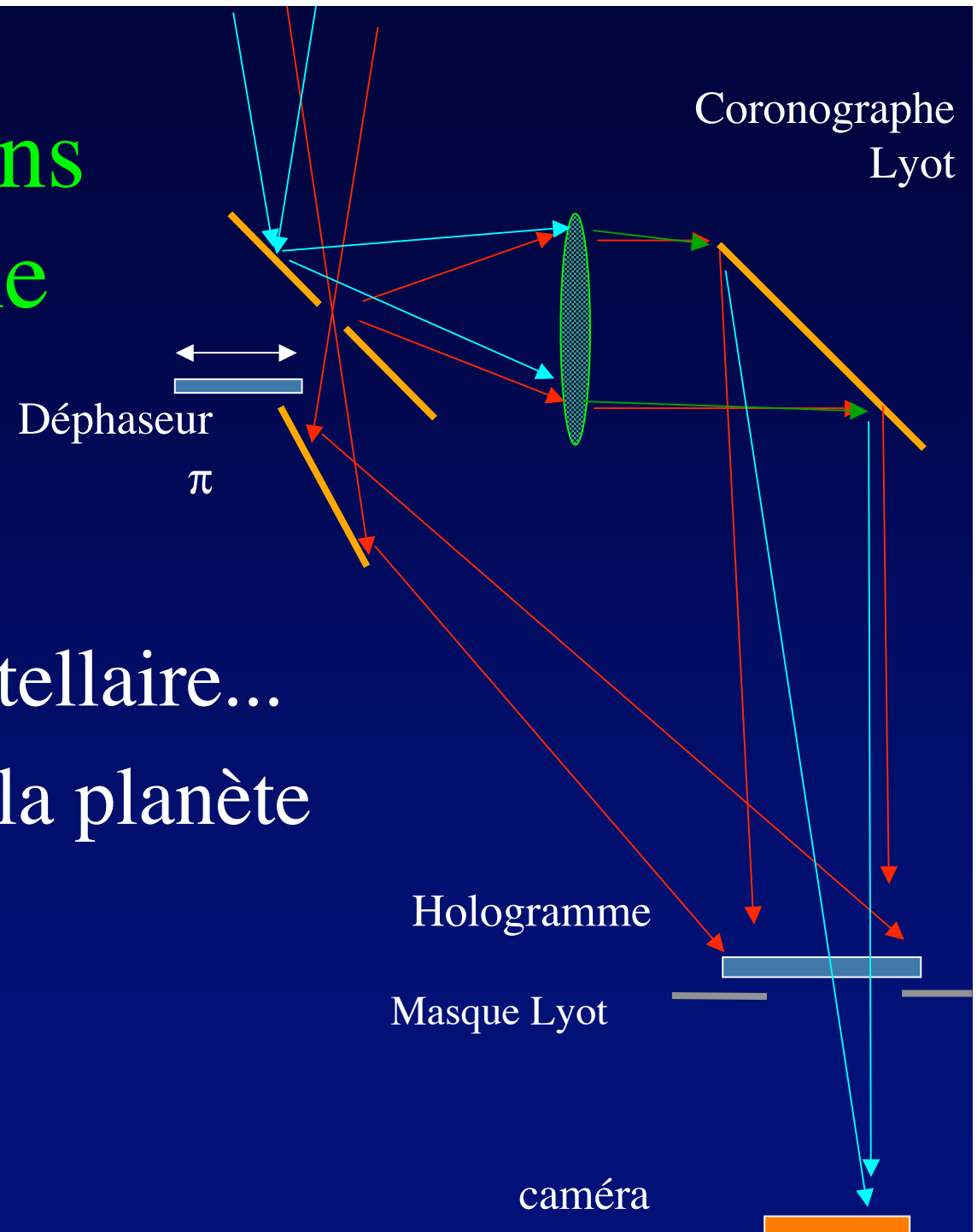


Séminaire à 17h30: Pierre Kervella, European
Southern Observatory

«Premières observations de Céphéides
avec l'interféromètre du VLT »

Hologramme dans un coronographe

- Détruit le résidu stellaire...
- ..en affectant peu la planète



une autre piste:

achromatisation approchée

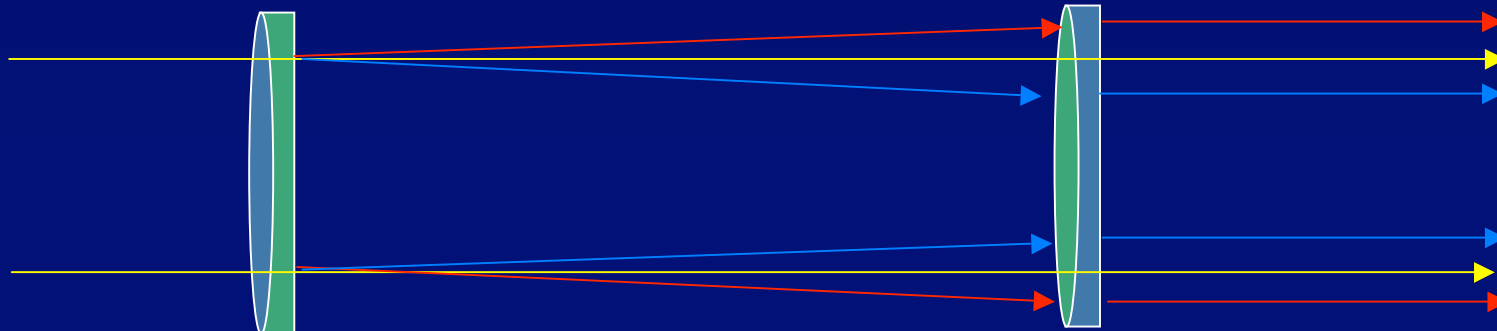
Bosselage

amplitude

$\phi(x,y)$



- Onde dans la première pupille: $1 + i(2\pi/\lambda) \delta(x,y) + a(x,y)$
- Si $\phi(x,y) \gg a(x,y)$ speckles rouges identiques aux bleus, mais plus étalés
- Aussi pour les franges de l'hologramme
- donc achromatisable avec un correcteur de Wynne



Erratum:

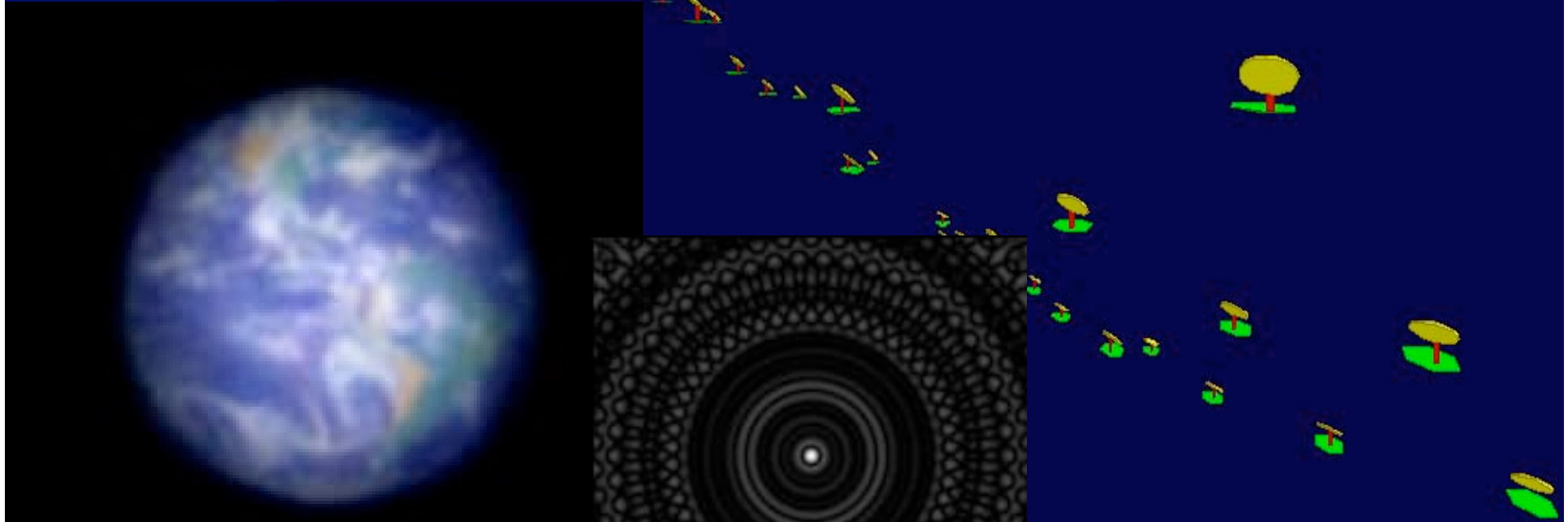
à propos de coronographie extrême, d'hologramme, et d'achromatisation

- Les bosses du miroir primaire sont imagées par le coronographe dans sa pupille de sortie...
- ... traduites en intensité: tavelures
- Seul le contraste dépend de la longueur d'onde
- Pas l'échelle des tavelures
- Mais les franges créées par le faisceau de référence holographique ont une échelle en λ
- Disperser le faisceau de référence pour achromatiser
- ... au lieu d'utiliser un correcteur de Wynne (lequel conviendrait pour un hologramme dans le plan image)

Dans 20 ans ? Exo-Earth Imager

150 miroirs
de 3m
150 km

Terre à 3pc
Pose 30mn



ESO: Over Whelmingly Large telescope (OWL)

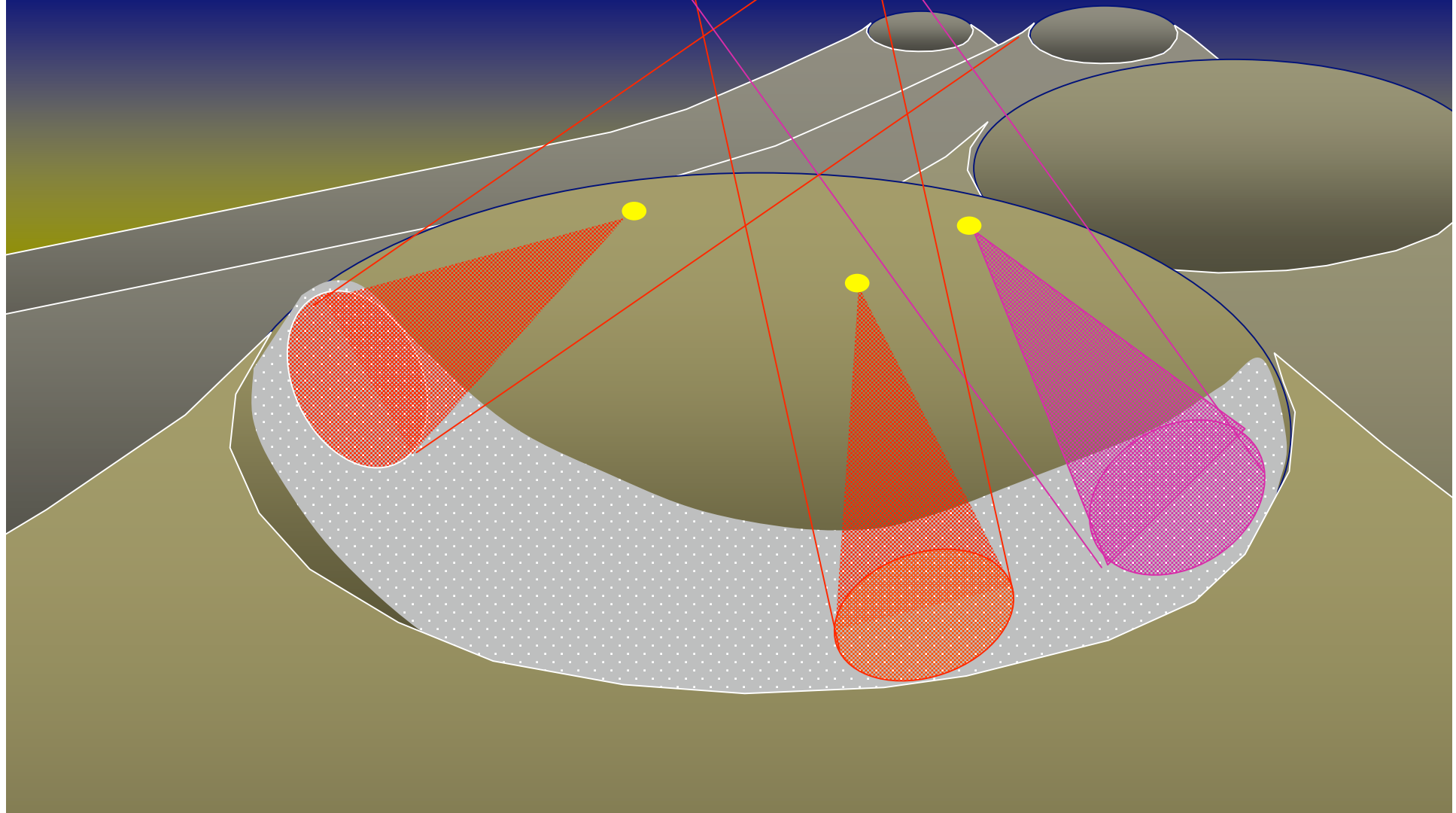
- Diamètre 100 m, surface 7 000 m²
- Magnitude 35 à 38, avec optique adaptative
- Étude en cours



hypertelescope CARLINA kilometrique

10,000 miroirs de 1m, étalés sur 5 km

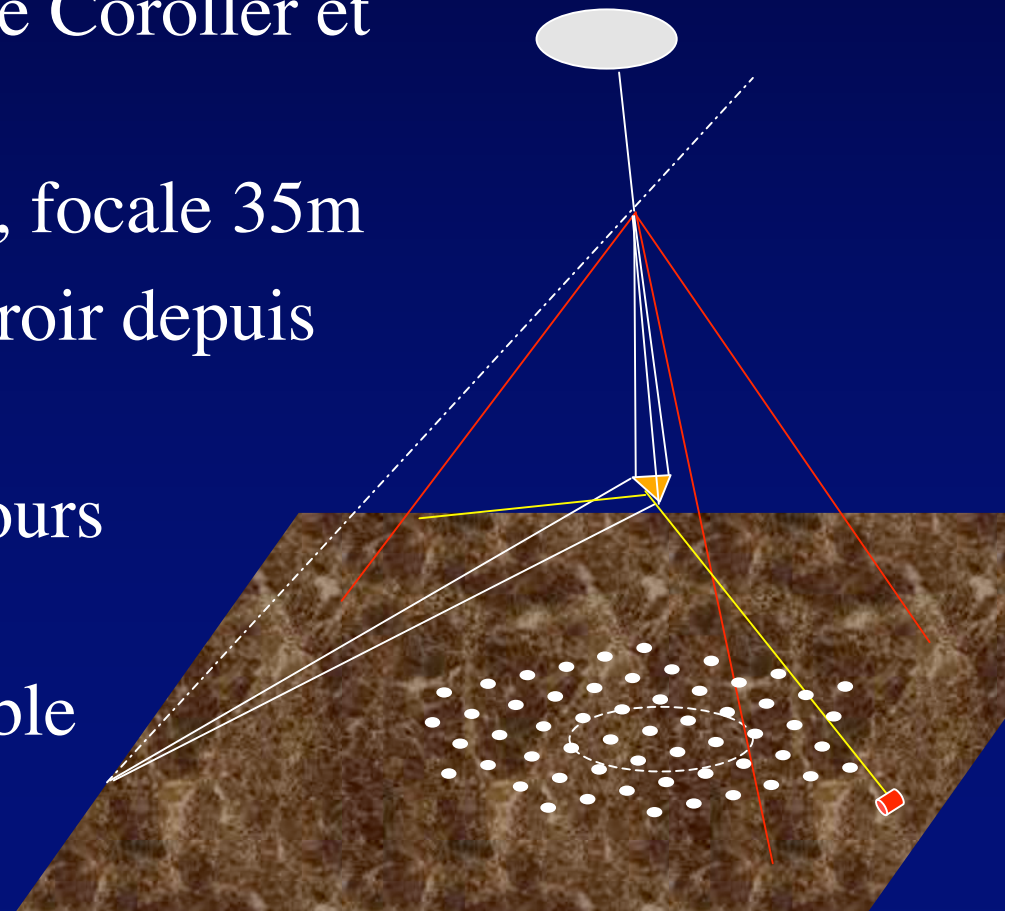
Imagerie mag. 38, cosmologie

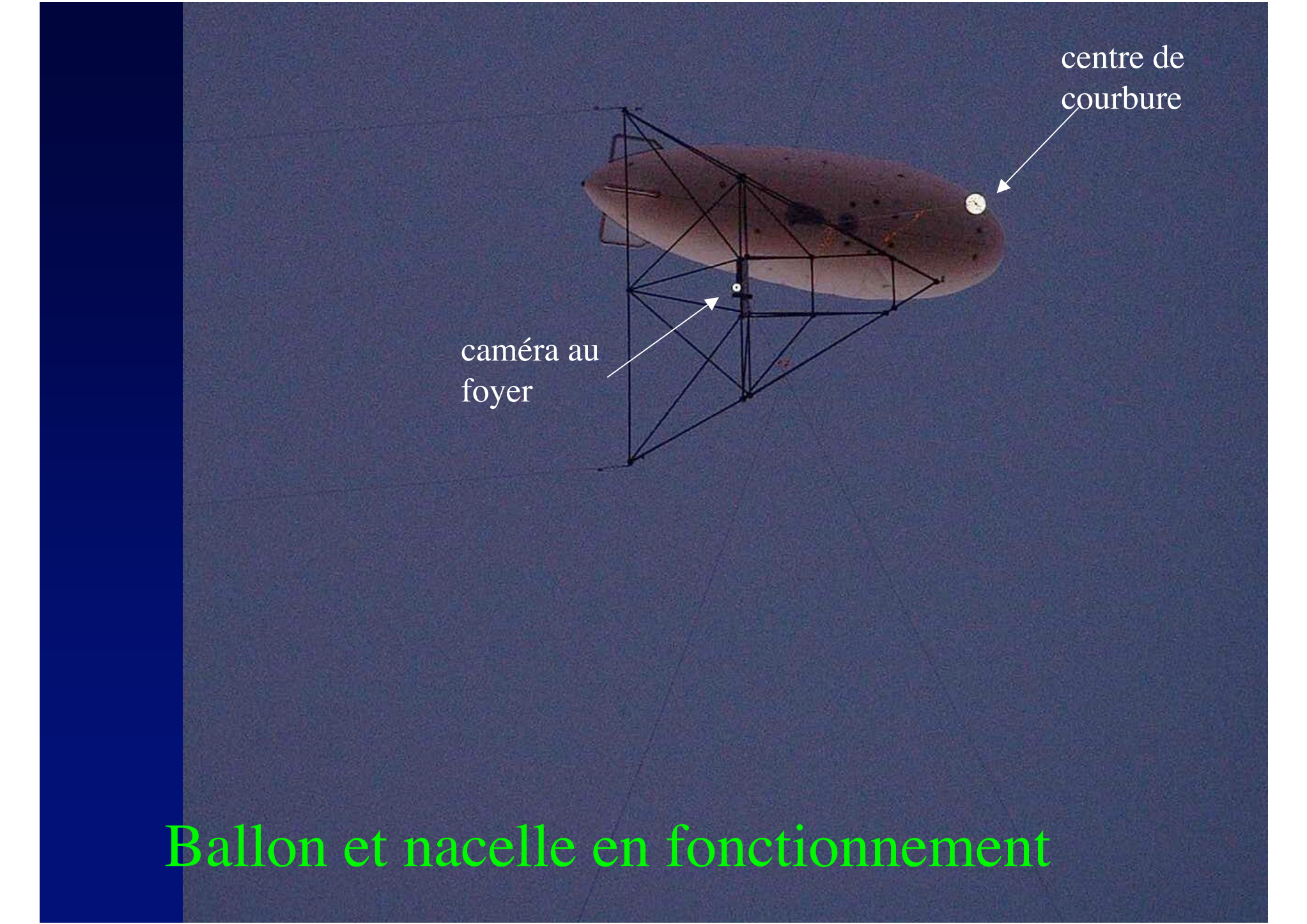


Prototype Carlina

à l'Observatoire de Haute Provence

- Étudié et construit en 2 ans par H. Le Coroller et J. Dejonghe (Le Coroller et al., A&A 2004)
- Ouverture diluée de 17,5 m, focale 35m
- Fonctionne avec un seul miroir depuis 3/2004
- Éléments additionnels en cours d'installation
- Déménageable et extrapolable



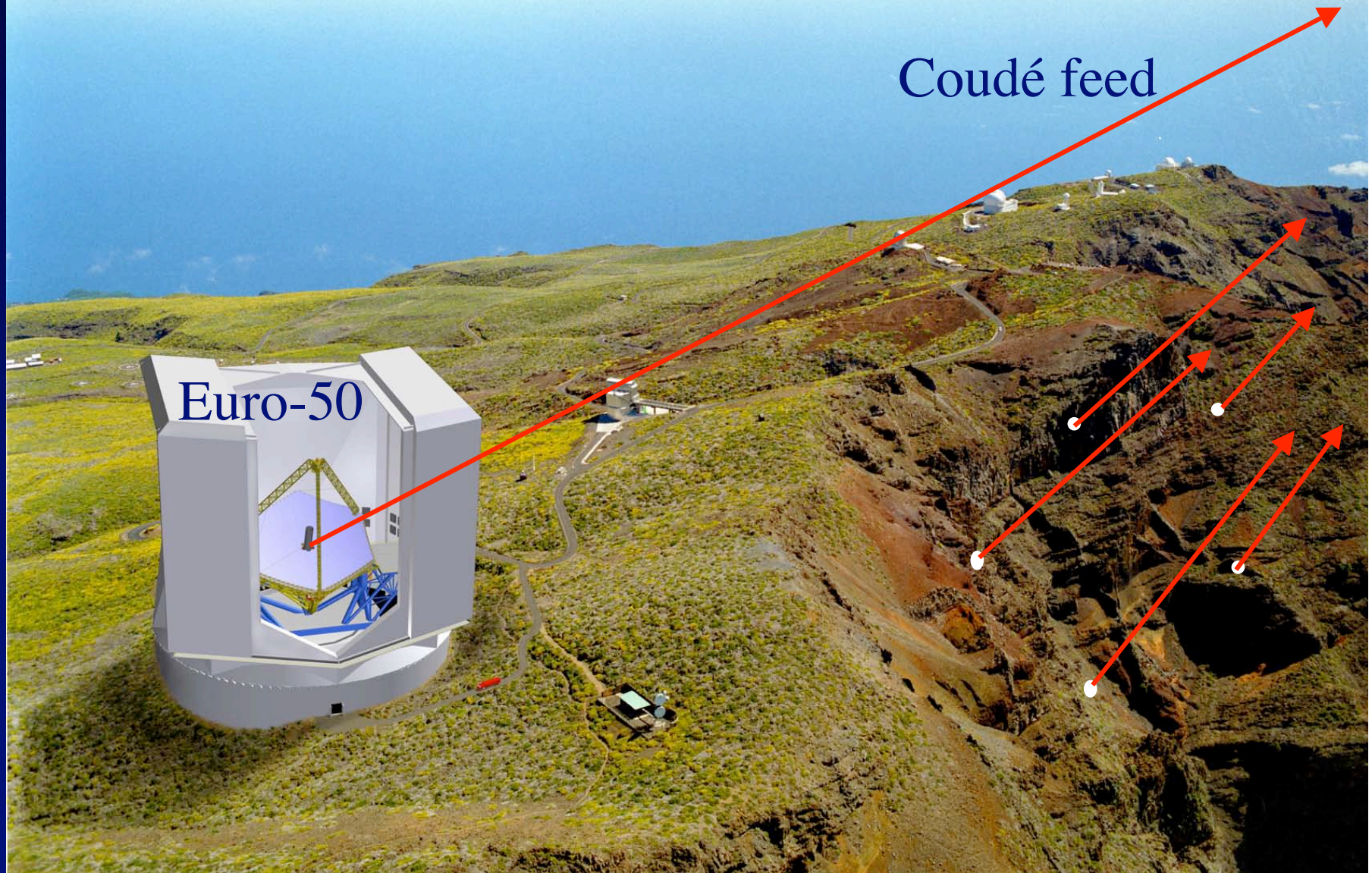


caméra au
foyer

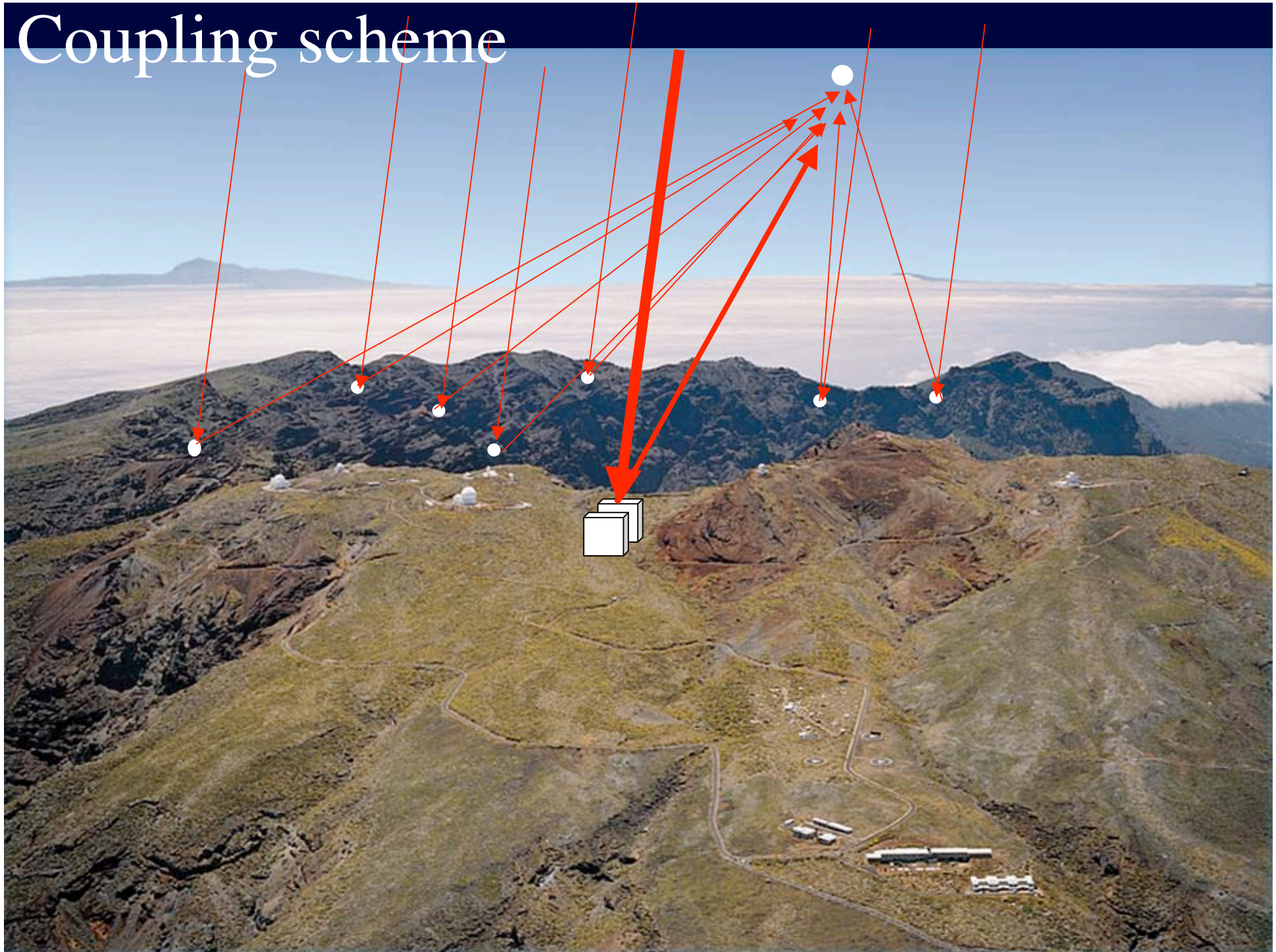
centre de
courbure

Ballon et nacelle en fonctionnement

Roque de las Muchachos, Canarias



Coupling scheme





Caldera del
Taburiente

télescope de 8 m

- bon ...
- mais couteux
du mètre carré



Exo-Earth Discoverer:

a hypertelescope version proposed for DARWIN/TPF

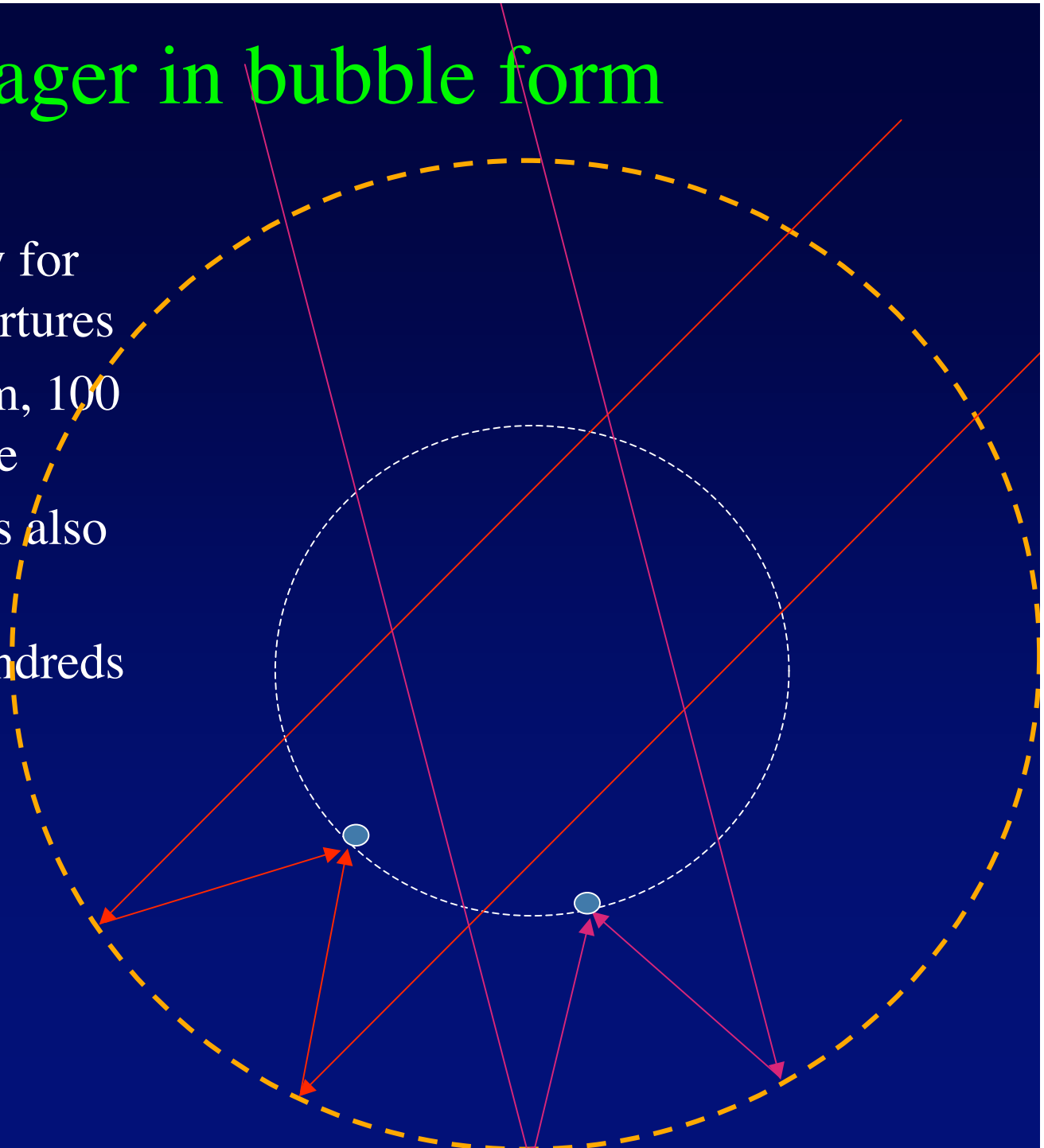
100 -1000m flotilla of 37 mirrors, 0.8m size



artist concept by Boeing /SVS

Exo-Earth Imager in bubble form

- 400 km bubble array for 100km effective apertures
- 10,000 mirrors of 3m, 100 per effective aperture
- 1-km diluted flotillas also as focal correctors
- Static observing, hundreds of exo-Earths simultaneously



Résidu causé par le bosselage de l'onde :

Formule de Maréchal

Pic/halo

$$G = N / \sigma^2$$

Nombre de bosses

Erreur de phase

- Exemple: à $\lambda = 500\text{nm}$, $G = 25$ millions pour 1000 bosses d'amplitude 0,12 nm

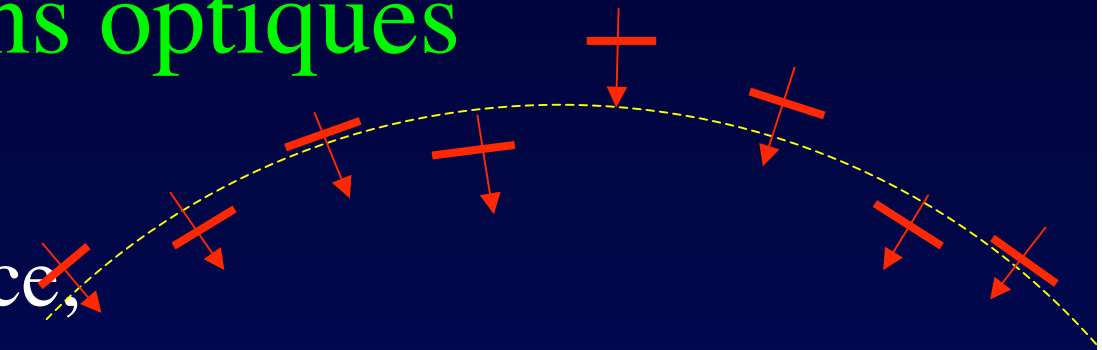
Il faut mesurer les erreurs de piston ...

- Le senseur de Shack-Hartmann le fait pour une onde continue...
 - ...en cartographiant les pentes locales des bosses
- Le senseur de courbure (Roddier) le fait aussi pour une onde continue...
 - ... en cartographiant la courbure locale
- Mais cela ne mesure pas les marches d 'escalier.... dans les interféromètres

Égaliser les chemins optiques

- Essentiel pour:

- mettre en cohérence,
et ainsi obtenir les interférences
- mettre en phase: tache d'Airy



- Tolérances:

- $\lambda^2 / \Delta\lambda$ pour cohérence
- $\lambda/4$ pour mise en phase
- $\lambda/1000$ ou $\lambda/5000$ pour coronographie exo-planétaire
- $\lambda/10$ pour coronographie exo-planétaire avec



Une solution:

étendre le principe des franges dispersées

- Utilisé par Michelson avec deux ouvertures
- Informatisé par L.Koechlin au « Grand Interféromètre à 2 Télescopes » (GI2T)
- Utilisable pour N ouvertures par paires
- Ou avec une hiérarchie de triplets (Pedretti et al, 1999)
- Extension à N ouvertures globalement étudiée par V.Borkowski (thèse le 3 Juin) et F.Martinache

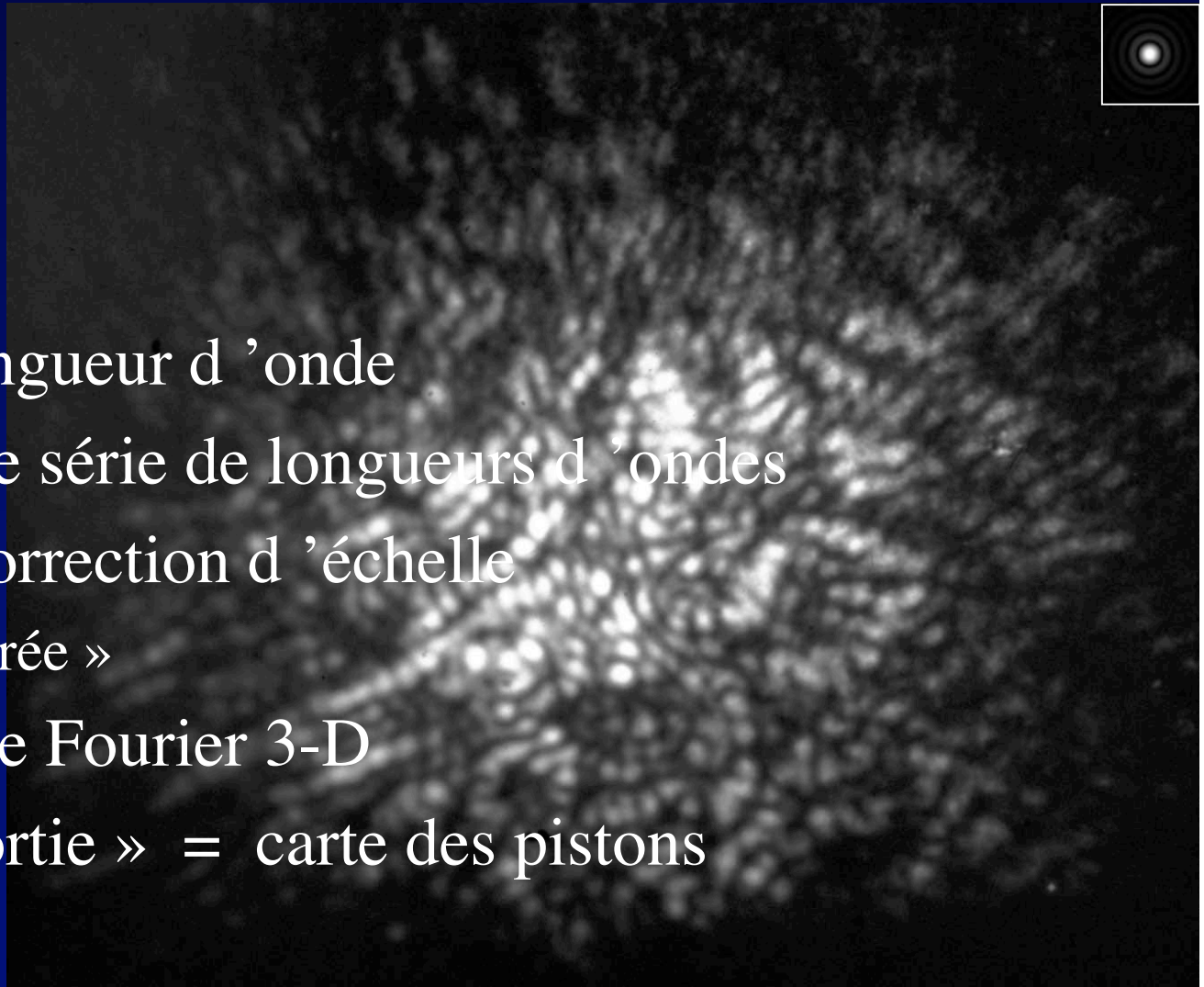
Méthode des tavelures dispersées: principe

- Image tavelée
- Fonction de la longueur d 'onde
- Enregistrées à une série de longueurs d 'ondes
- Empilées après correction d 'échelle
 - => « cube d 'entrée »
- Transformation de Fourier 3-D
- => « cube de sortie » = carte des pistons
- a

Méthode des tavelures dispersées: principe

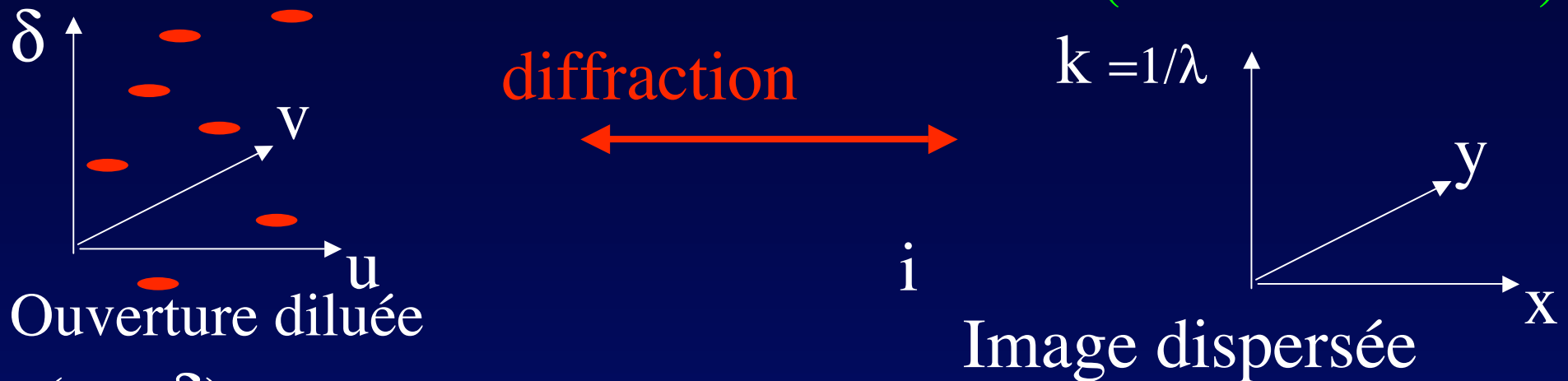
Tache
d'Airy

- Image tavelée
- Fonction de la longueur d'onde
- Enregistrées à une série de longueurs d'ondes
- Empilées après correction d'échelle
 - => « cube d'entrée »
- Transformation de Fourier 3-D
- => « cube de sortie » = carte des pistons



Formalisme des « tavelures dispersées »

(Martinache 2004)



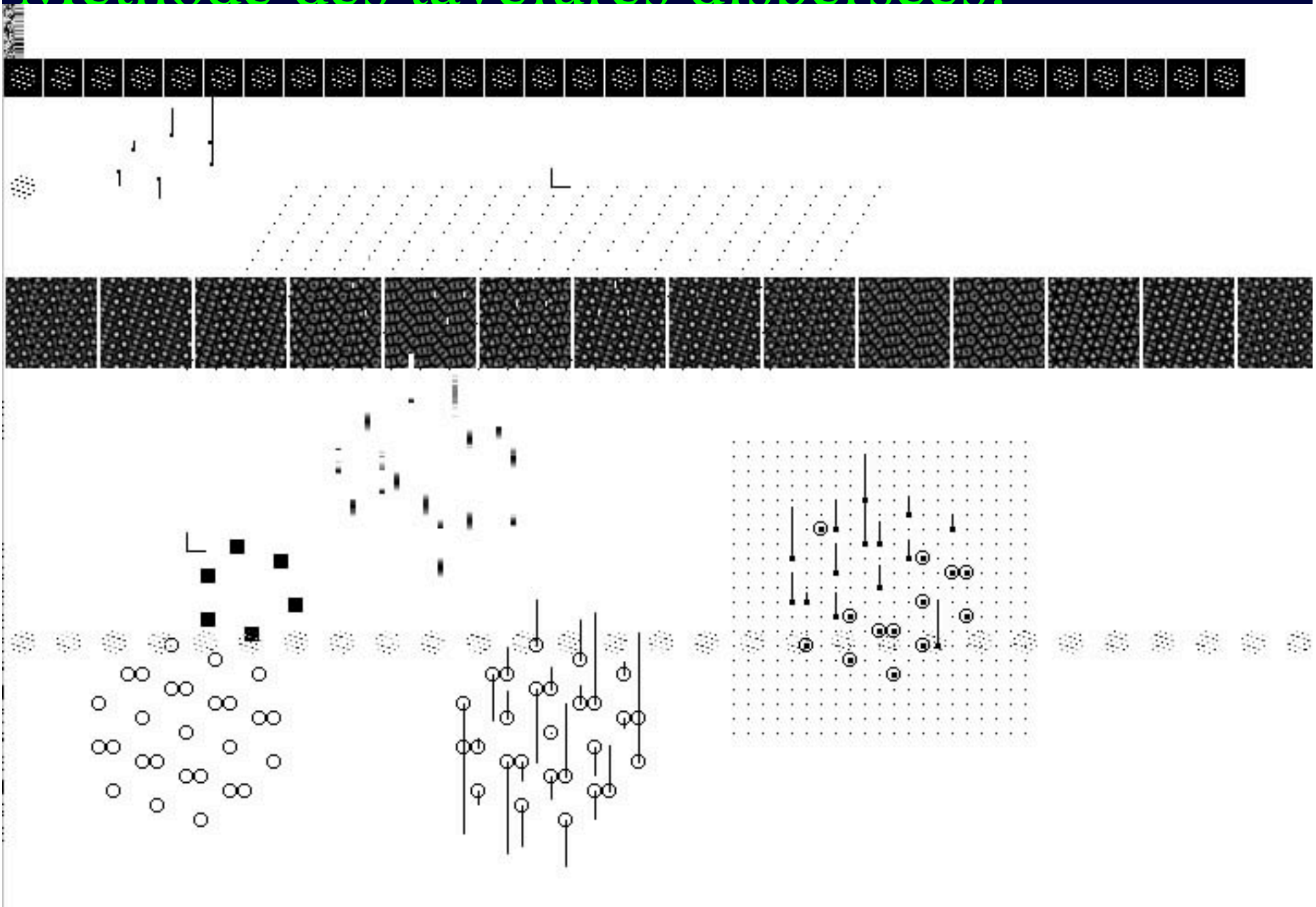
$$I(x, y, k) = |TF|^2[\tau(u, v, \delta)]$$

- La TF de l'image dispersée est l'autocorrelation de $\tau(u, v, \delta)$, tridimensionnelle
- Inversible pour calculer $\delta(u, v)$ si :
 - Ouverture non redondante

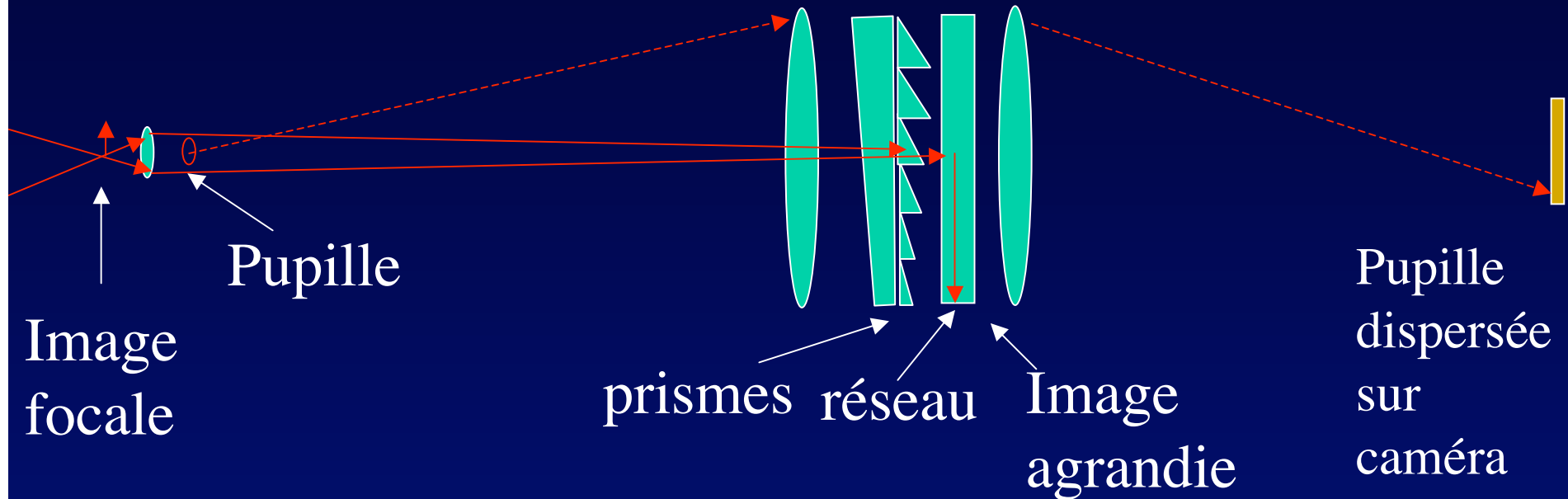
Exploitation du cube de sortie

- Pic(s) dans chaque colonne
- Indique(nt) erreur(s) de piston pour chaque paire d'ouverture

Méthode des tavelures dispersées:



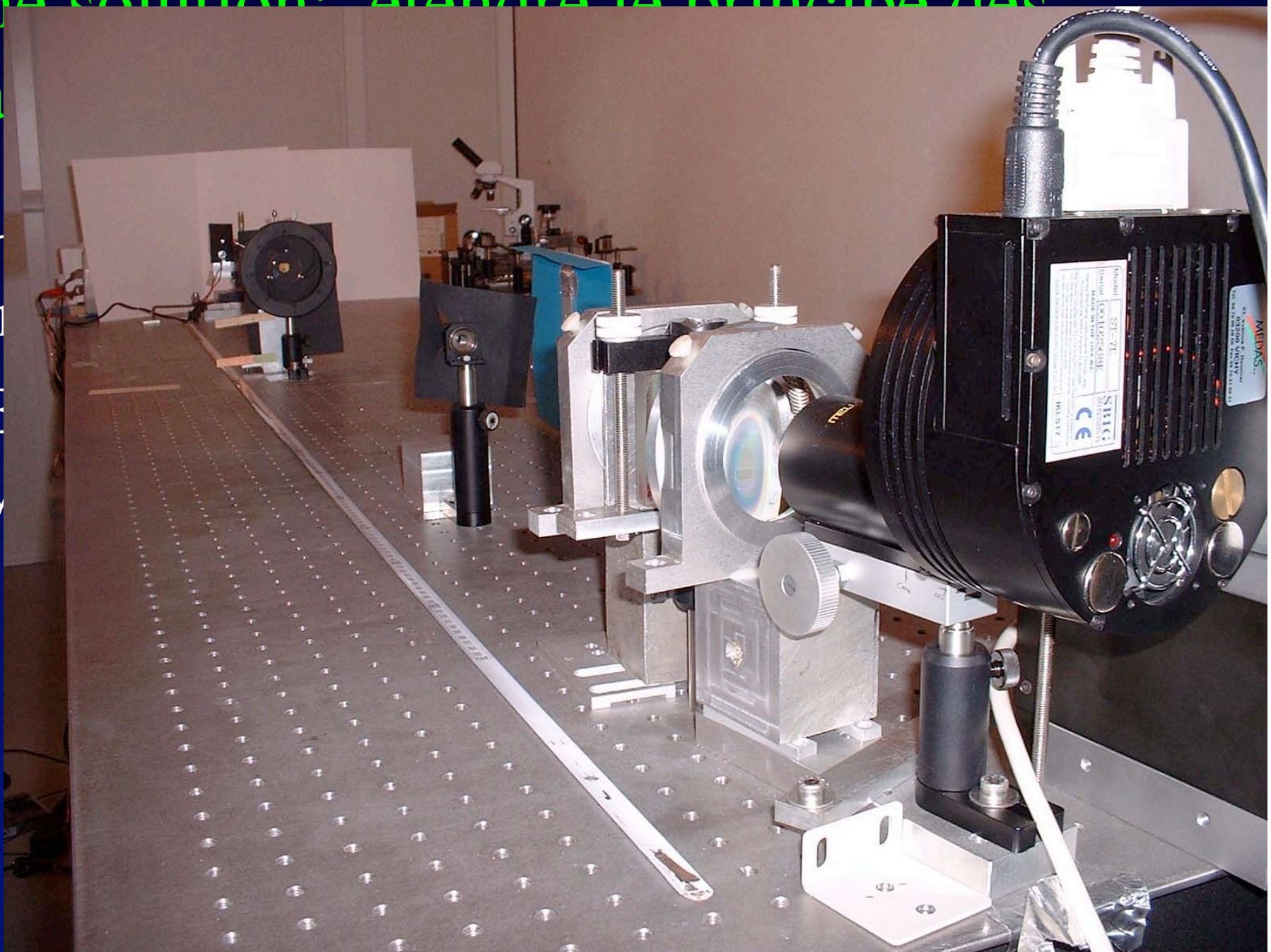
L 'instrument : un « spectrographe éclateur »



- Spectre de la pupille éclaté par trame de prismes
- => un spectre pour chaque speckle
- Cube d 'entrée mis en forme dans l 'ordinateur

Une solution: étendre le principe des fra

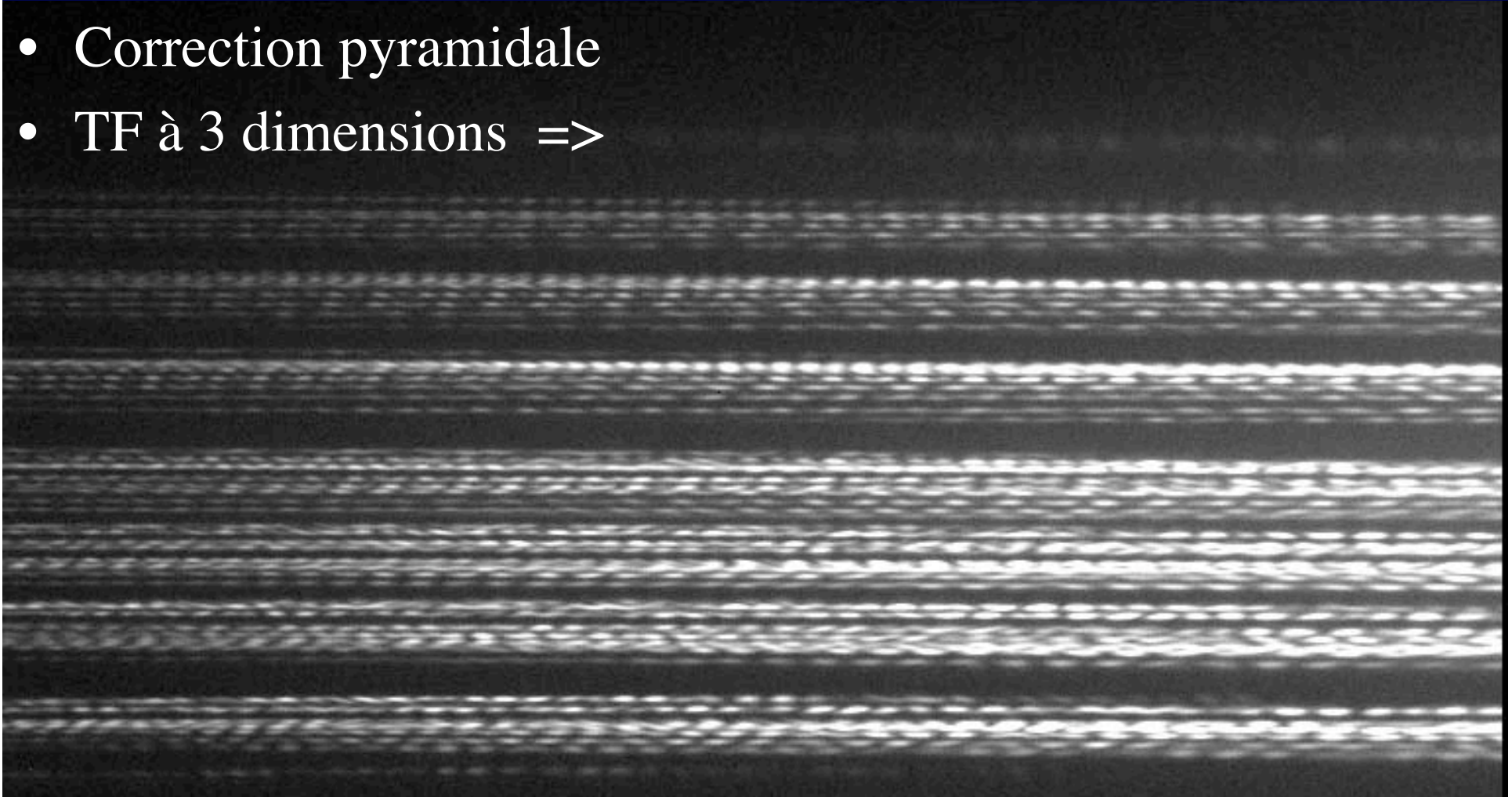
- U
- I
- E
- V



Senseur de piston à « speckles dispersés »

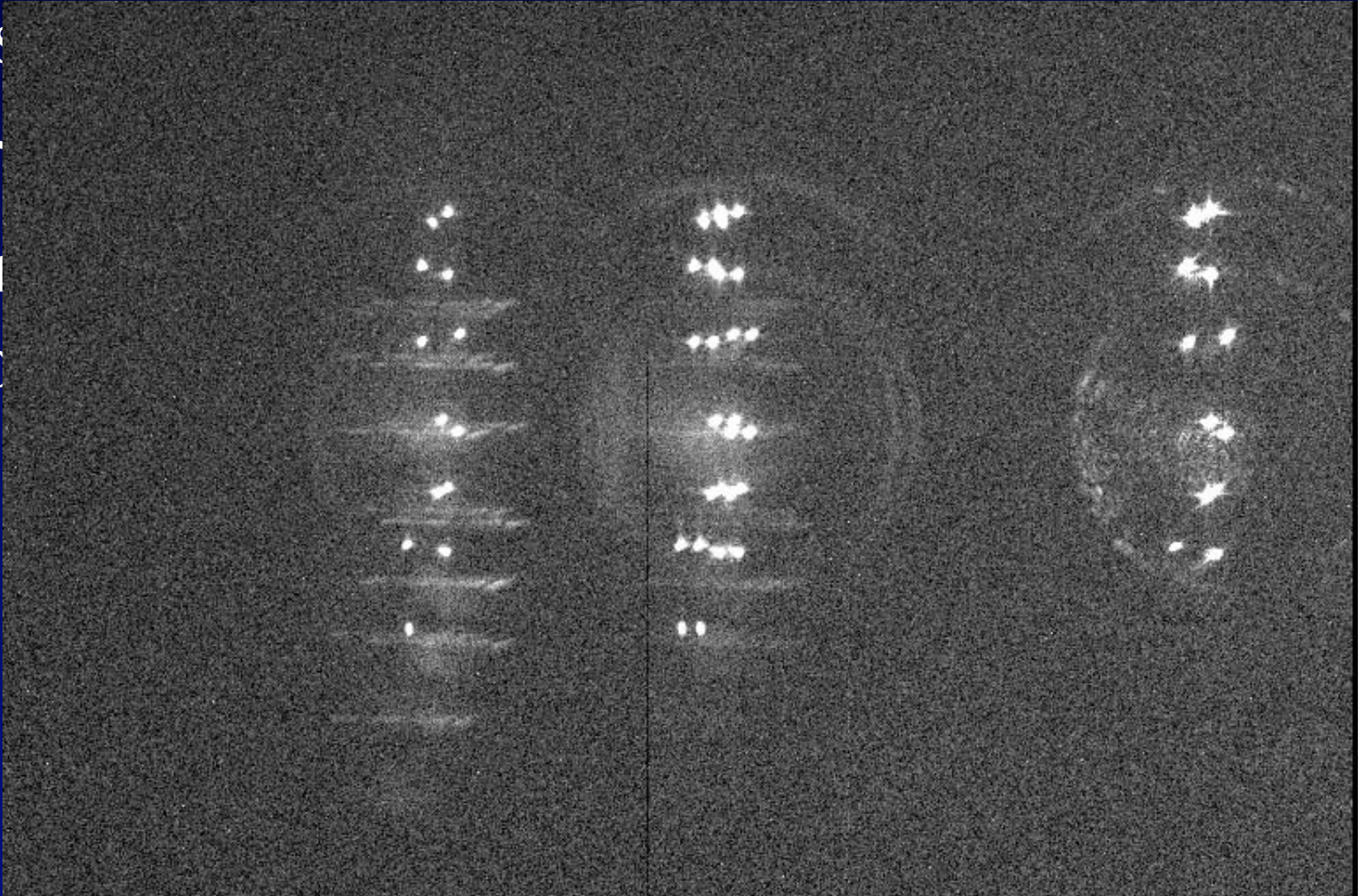
(thèse en cours de V.Borkowski)

- Spectre de chaque speckle \Rightarrow image (x, y, λ)
- Correction pyramidale
- TF à 3 dimensions \Rightarrow



Une solution: étendre le principe des franges dispersées

- Utilis
- Infor
- Exter
- V.Bo



Méthode des tavelures dispersées:

Faut-il beaucoup de

lumière ?

- Un photon par turbule suffit pour Shack-Hartmann
- Peut-on faire aussi bien
- Problème attaqué par simulation numérique..
- ..puis par

suite et fin dans le prochain cours