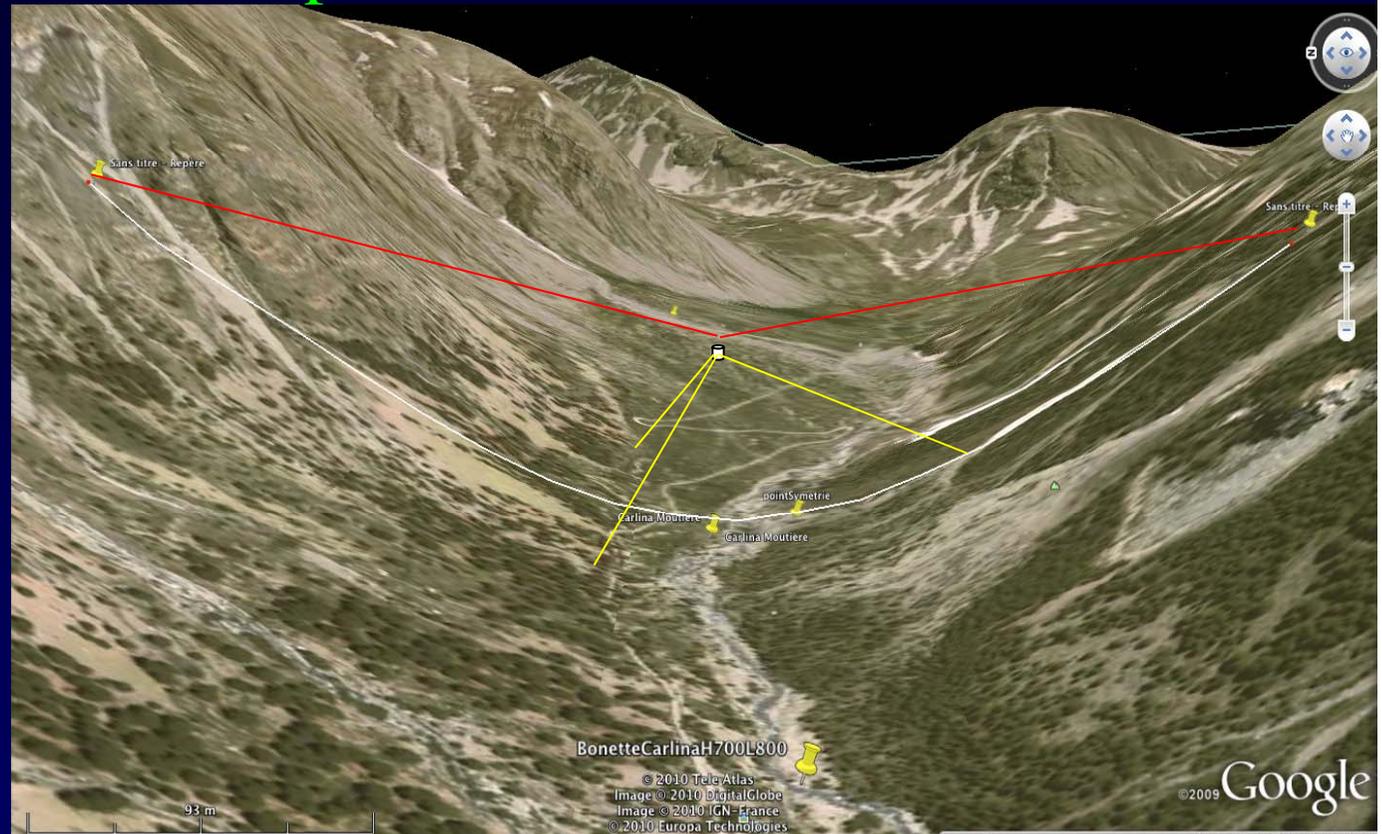


Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- videos des cours précédents sur:
www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast_obs/audiovideo.jsp
- Articles sur: www.oamp.fr/lise

Un hypertélescope au Coeur des Alpes du Sud (vallée de l'Ubaye)... et la taille supérieure



- A 11h30: séminaire de François-Xavier Désert (Observatoire de Grenoble, IPAG)
L'évolution des détecteurs sub-millimétriques et la révolution des observations astrophysiques

à 16h: discussion table ronde

"Vers la proposition d'un grand hypertélescope à ouverture de 500-1500m : quelle science ? quel site ? quel concept ?

Dans les locaux du colloque R&D INSU

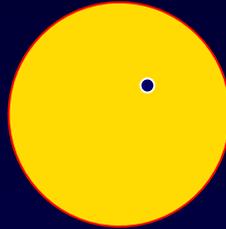




Mieux voir les étoiles,
leurs planètes: présence de vie ?
les galaxies,
l'univers lointain

Résultat récent par photométrie:

6 exo-planètes d'une étoile, vues en transit ...



Éclipses
moyennées

- non résolu angulairement,
photométrie

QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

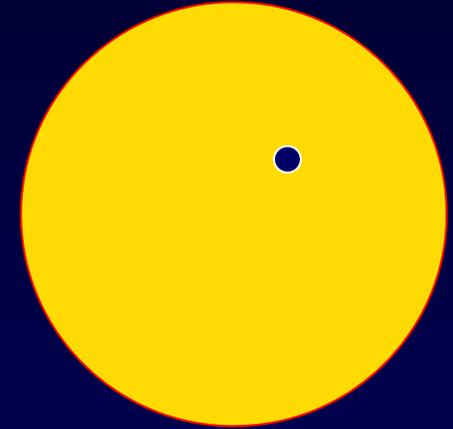
QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

Courbe de lumière

A closely packed system of low-mass, low-density planets
transiting Kepler-11, [Lissauer et al.](#), **Nature**, 2011

Exo-planètes en transit ...

on gagnera beaucoup à faire des images résolues



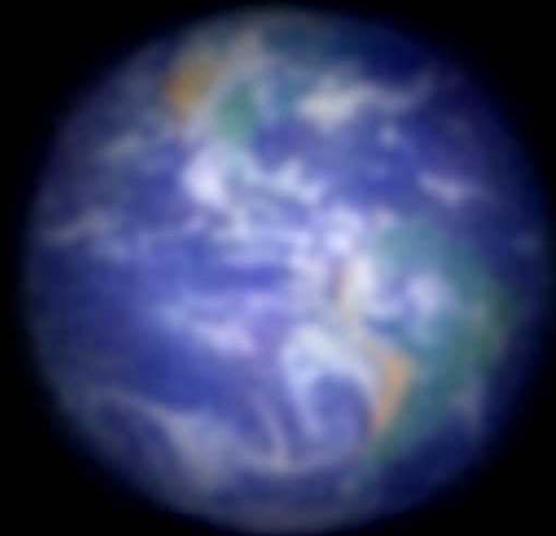
- ... notamment pour déterminer la composition chimique de leur atmosphère, par spectro-imagerie
- il faut un interféromètre imageur instantané: hypertélescope

Interférométrie:

l'heure des hypertélescopes arrive

- 100 ou 1000 ouvertures
- pour des images directes, instantanées ...
- riches en information ...
- sur des objets complexes, variables, à fort contraste (exo-planètes)

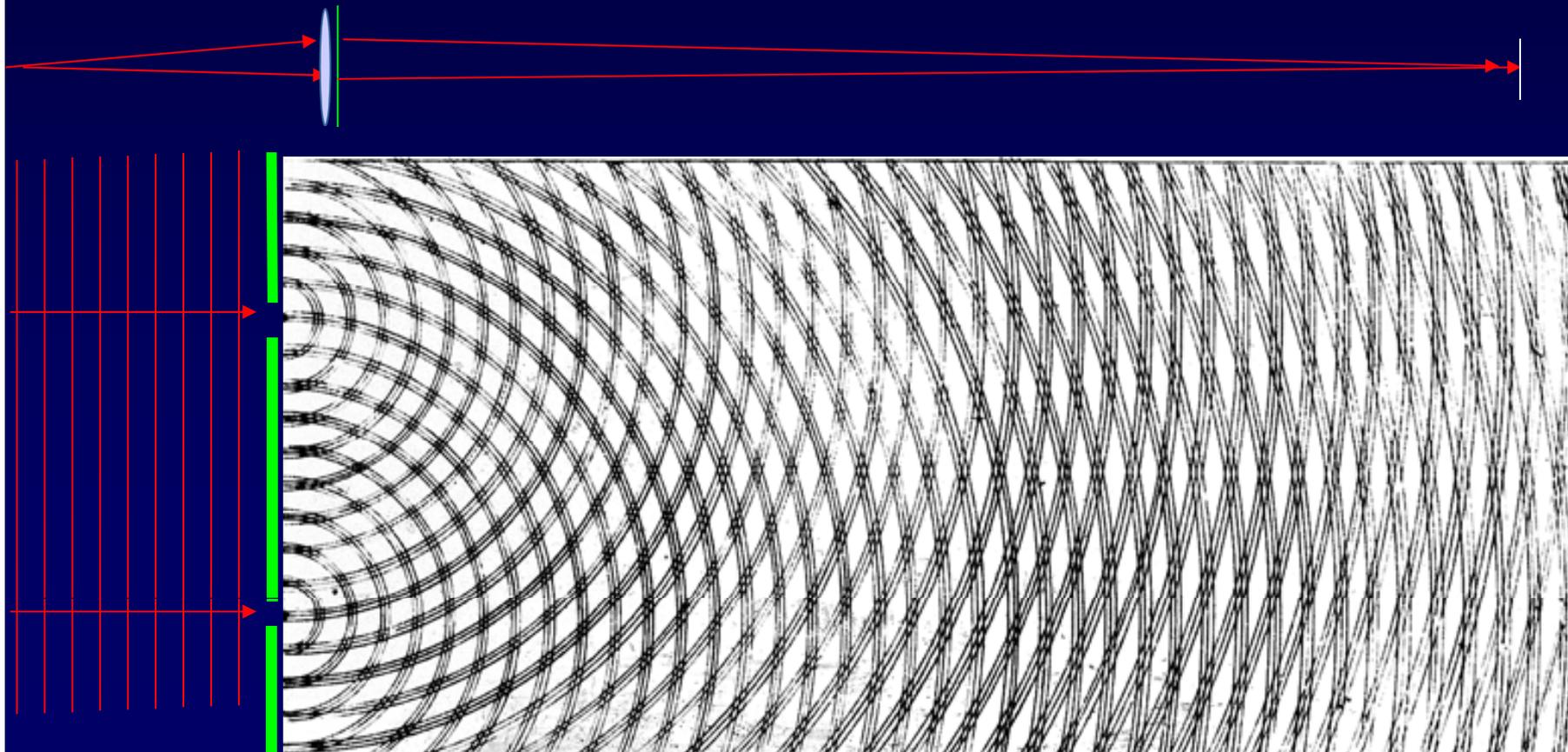
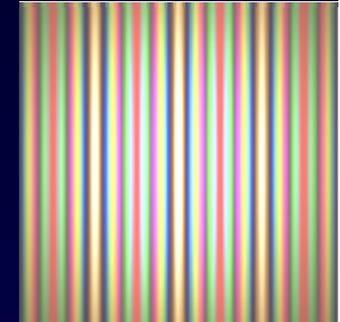
Exemple: image simulée d'une Terre à
10 années-lumière,
Avec 100 ouvertures de 1,5m en flotille
de 100km



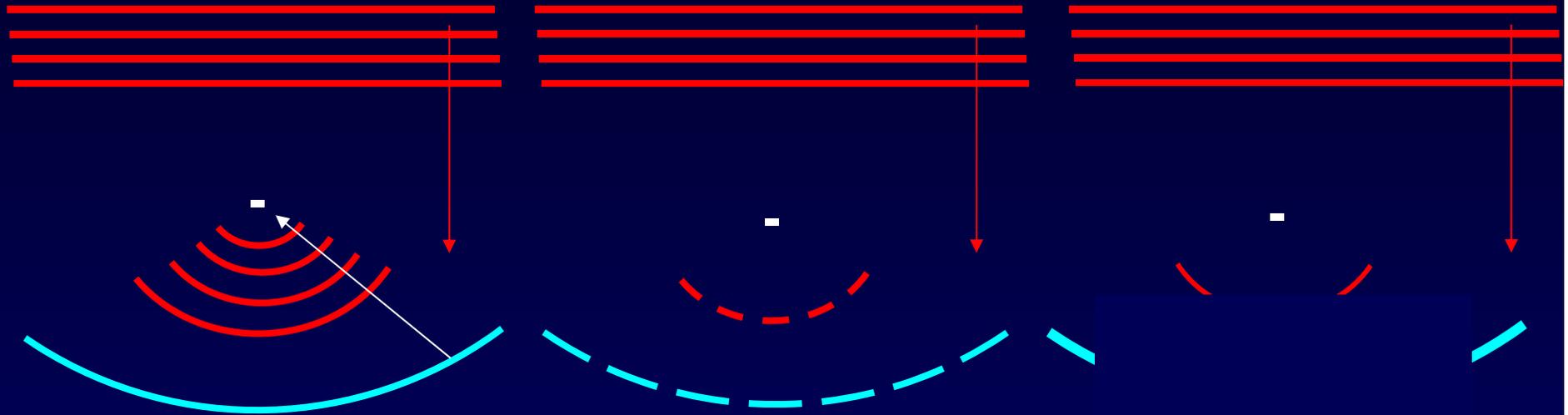
Interférences d'Young (ca. 1810)

Franges d'Young

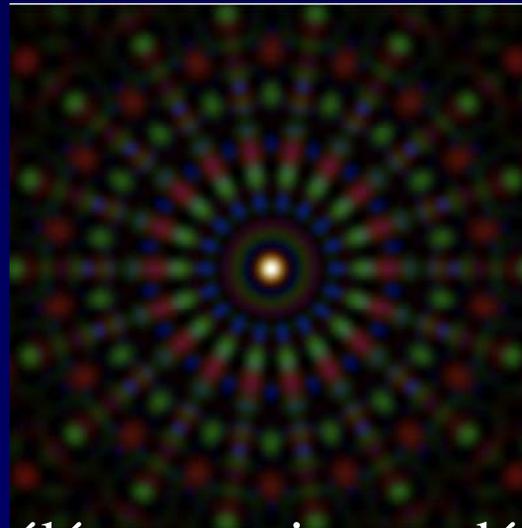
QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.



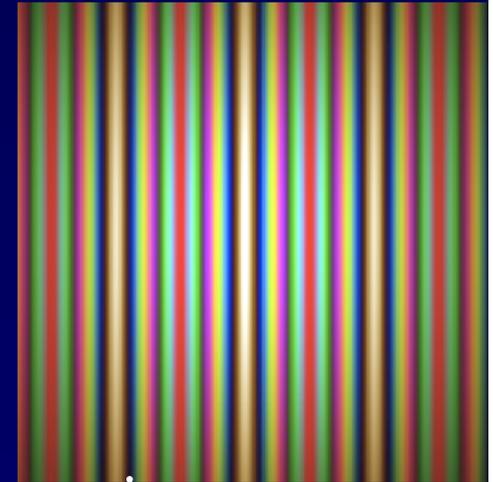
Interféromètre



Tache de
diffraction
d'Airy

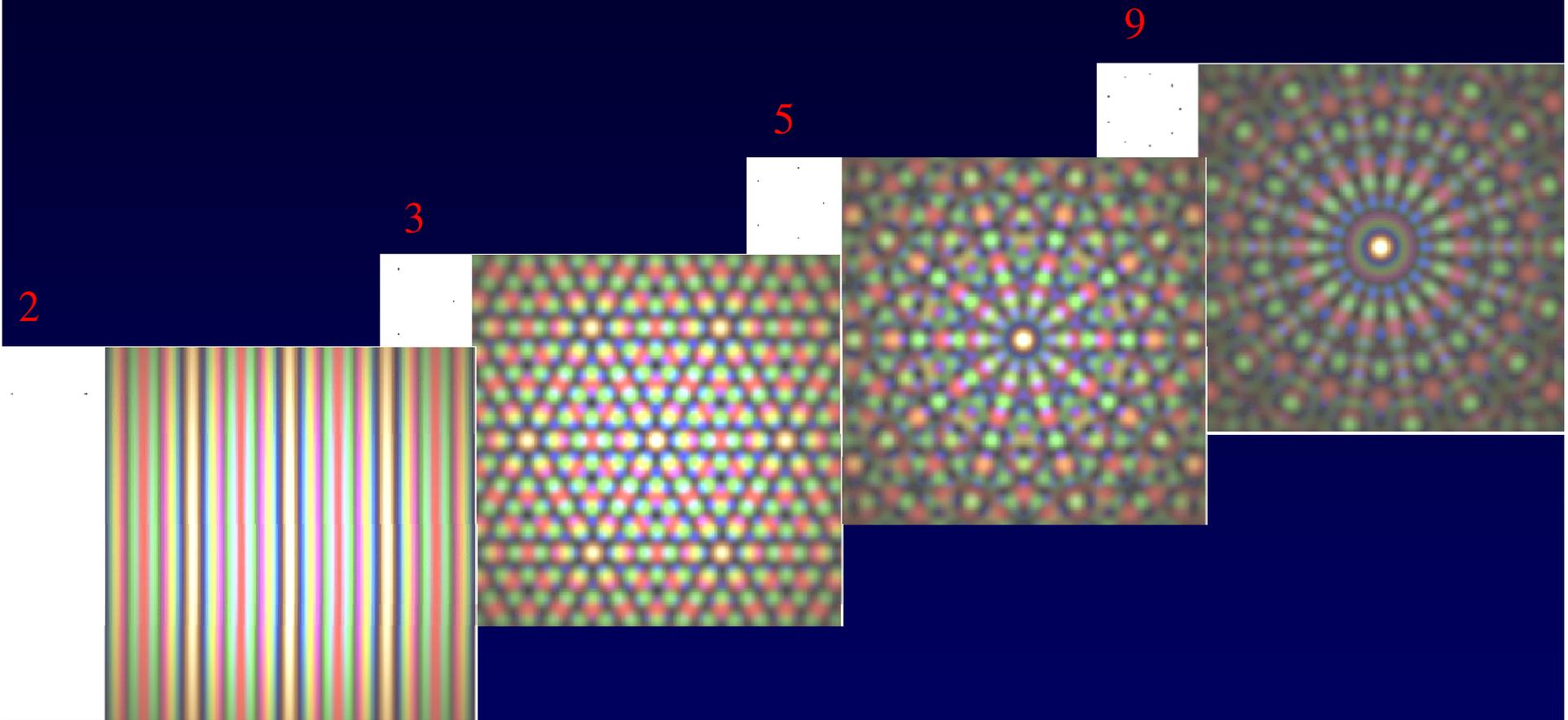


Interféromètre Fizeau



- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution

Interférences de Fizeau avec 2, 3, 5 & 9 ouvertures

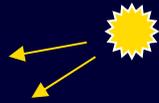
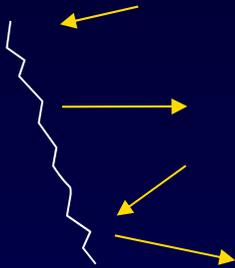


- Le pic central blanc s'intensifie avec plus d'ouvertures

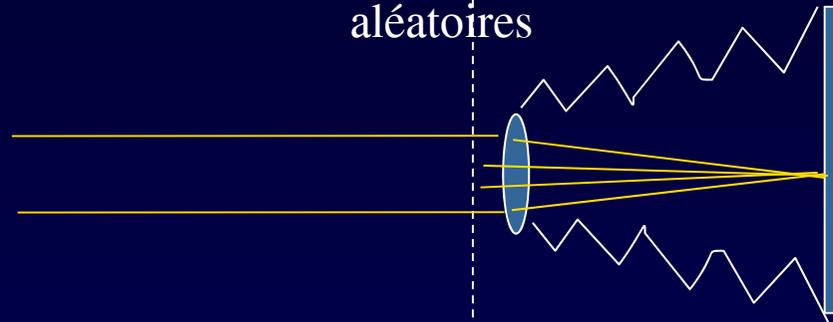
Petite expérience pour bricoleurs:

Imagerie Fizeau d'un objet étendu

Aluminium
froissé



trous
d'épingle
aléatoires



- l'image est voilée par un halo
- s'améliore avec le nombre d'ouvertures ...
- halo causé par la diffraction des petites ouvertures, et qui prélève de l'énergie ...
- ce qu'évite le montage "hypertélescope"

Imagerie Fizeau: simulations numériques par transformation de Fourier et convolution

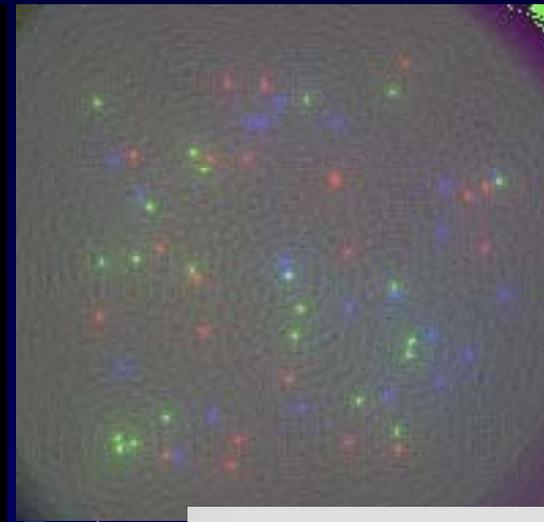
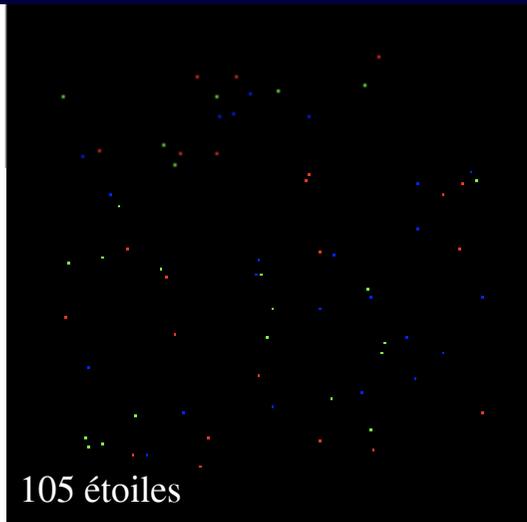
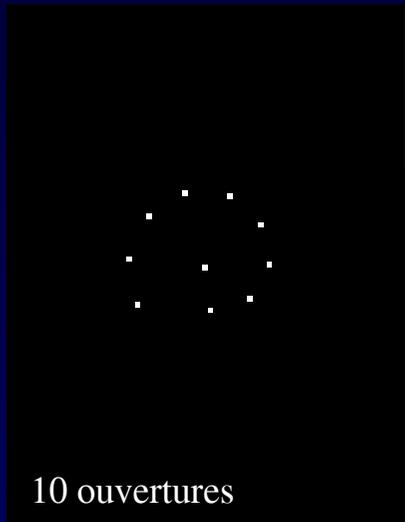


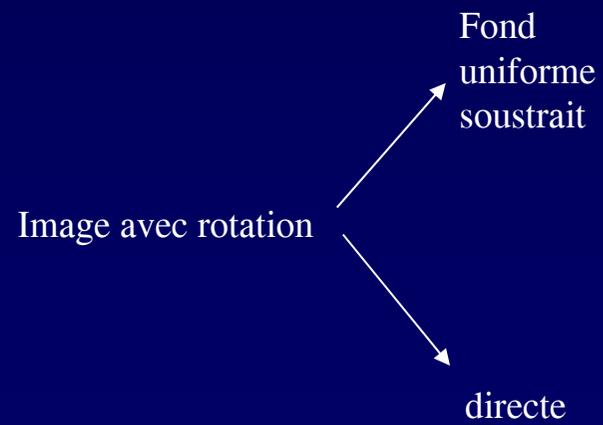
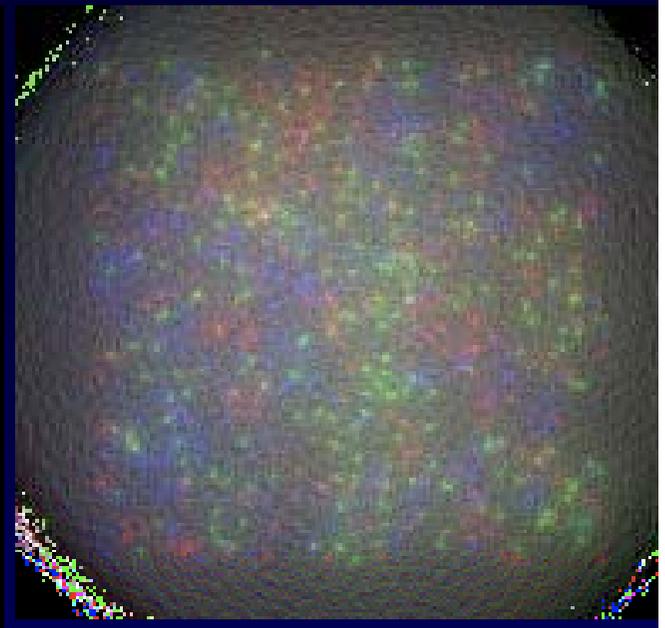
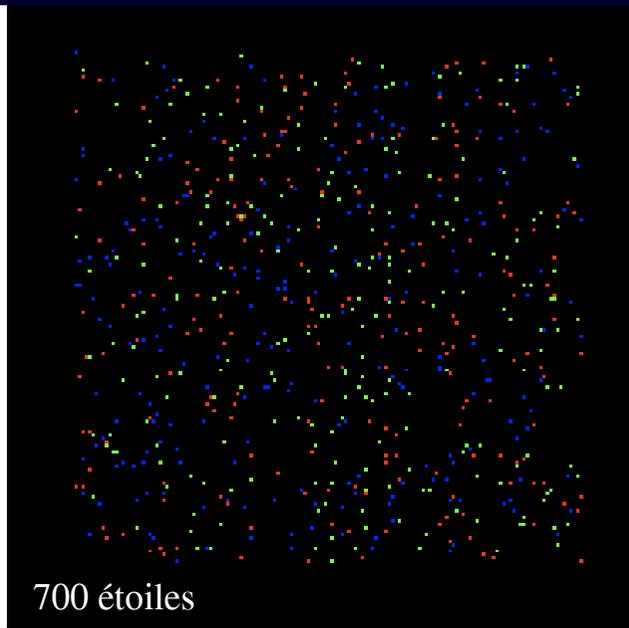
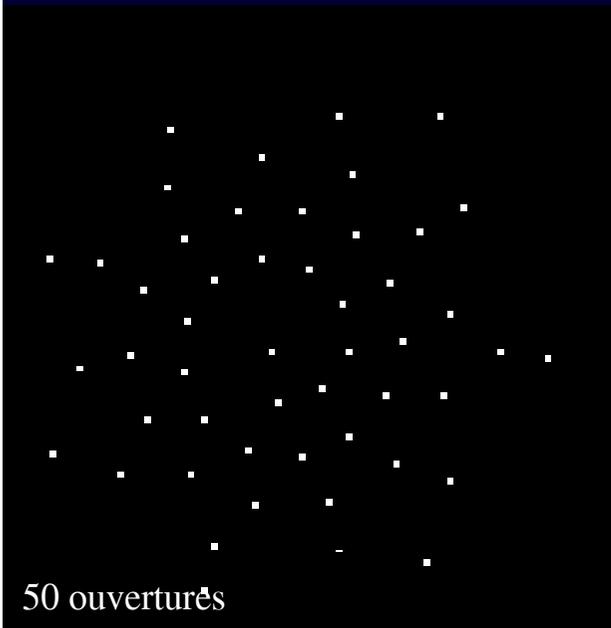
Image avec rotation

Fond continu soustrait

directe



Imagerie Fizeau: simulations numériques

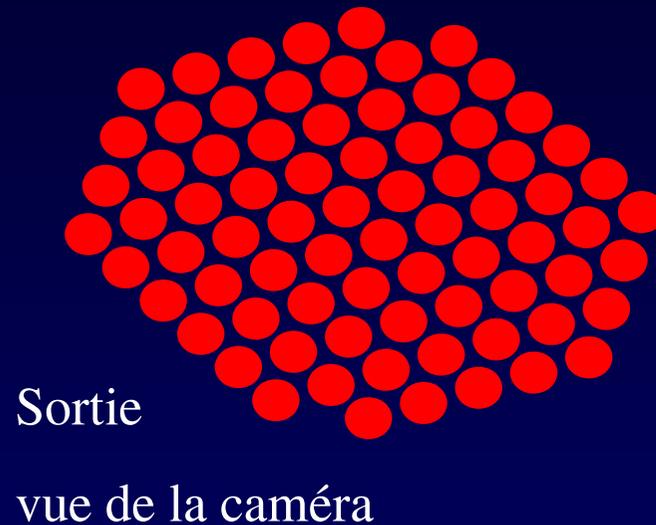
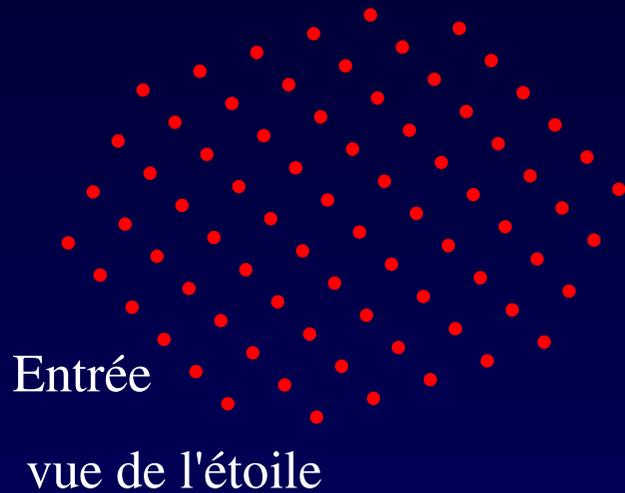


Imagerie Fizeau multi-ouverture et hypertélescope: quelle différence ?

- Les deux donnent des images directes, riches en information
- Meilleure luminosité en densifiant la pupille
- Gain accru si l'ouverture est très diluée

Améliorer l'interféromètre Fizeau:

densifier la pupille pour une image plus lumineuse

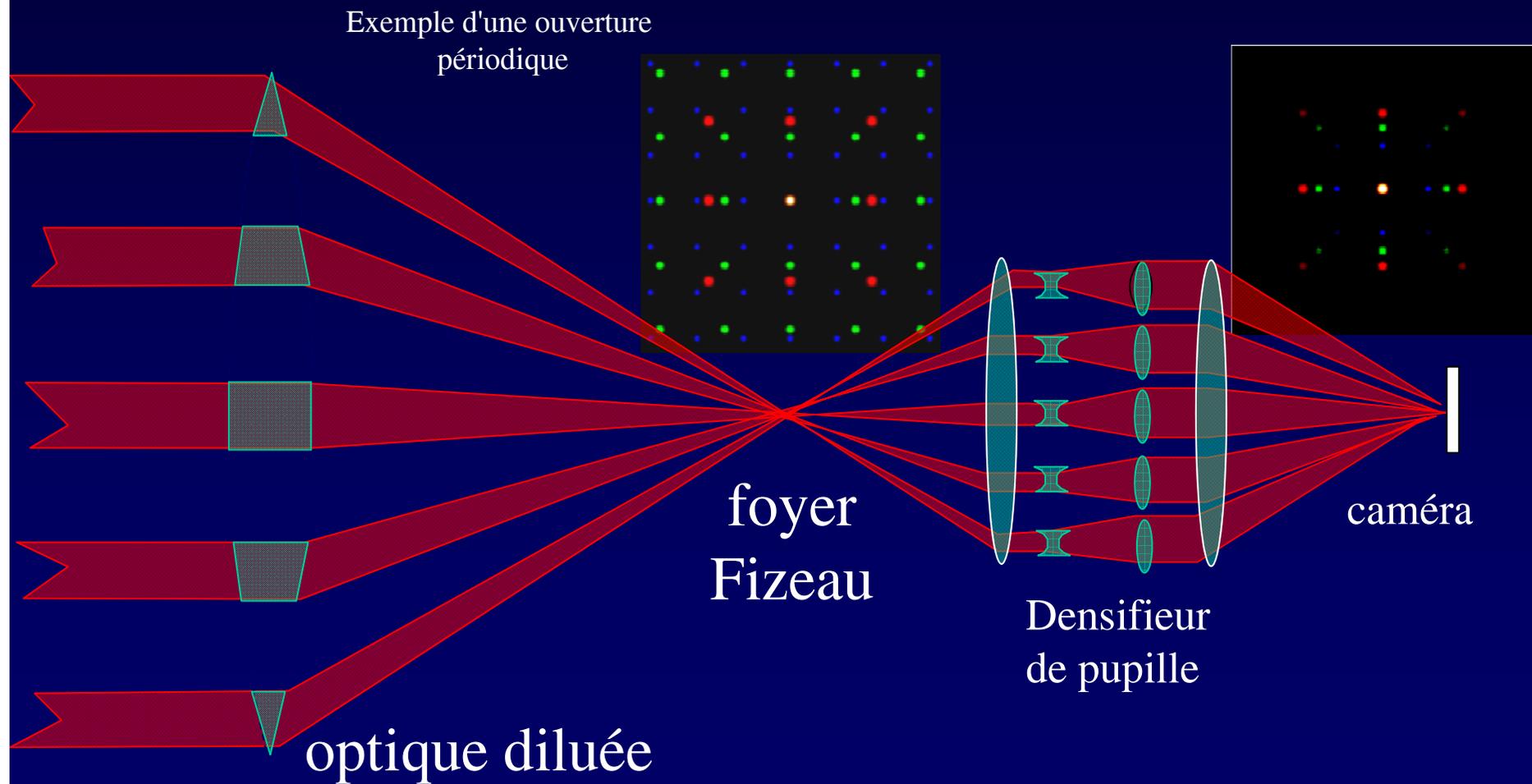


- sans modifier l'ouverture d'entrée ...
- rétrécit le halo de diffraction
- concentre sa lumière dans le pic d'interférence
- intensifie l'image qu'il forme

Principe de l'hypertélescope

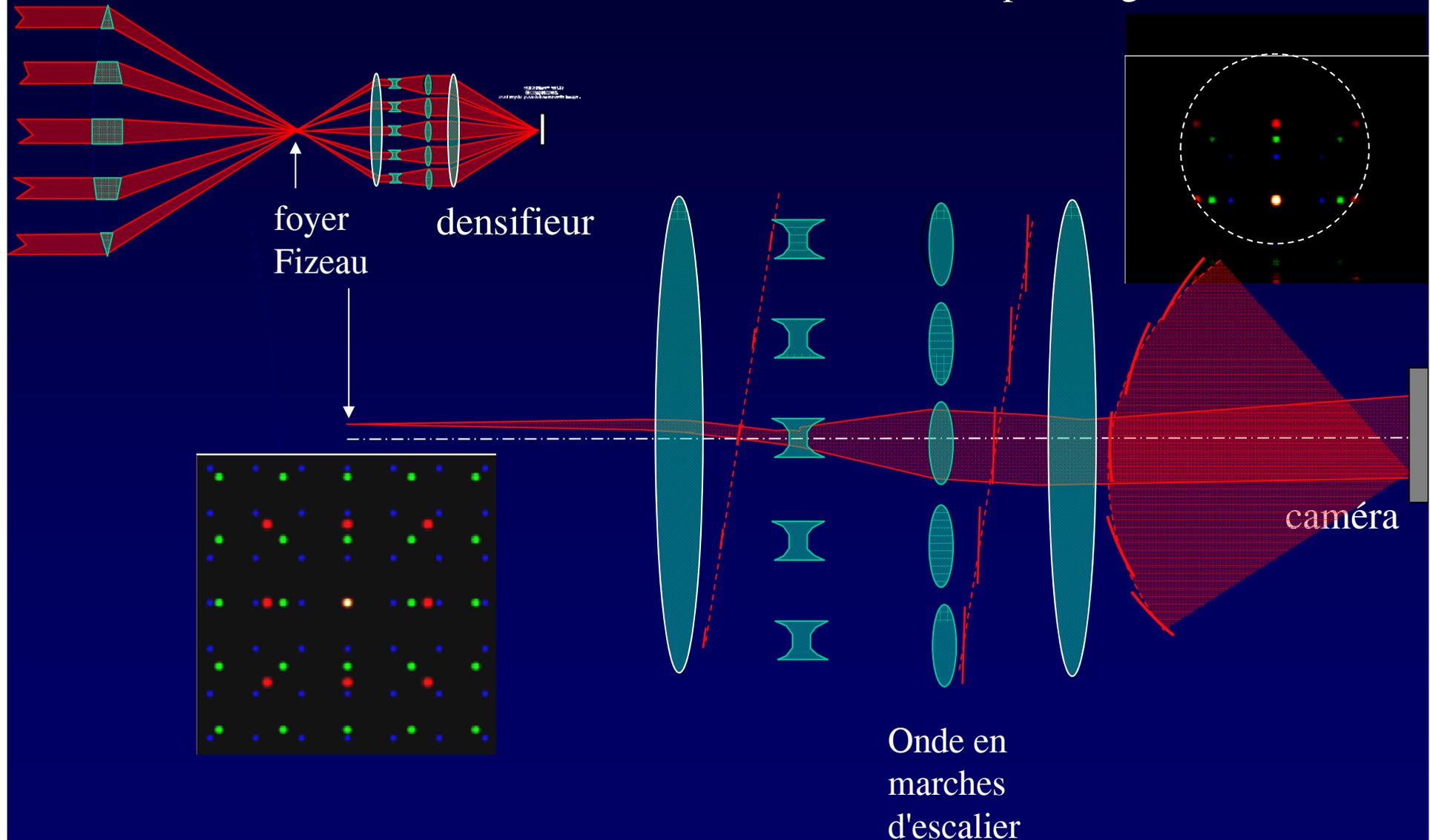
ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »

(Labeyrie A&A, 1996)



Etoiles hors de l'axe

- Les images se déplacent plus vite que leur enveloppe...
- ... et en sortent éventuellement => limitation du "Champ d'Imagerie Directe "



Interféromètre ou hypertélescope:

Ouvertures petites et nombreuses: le gain en science

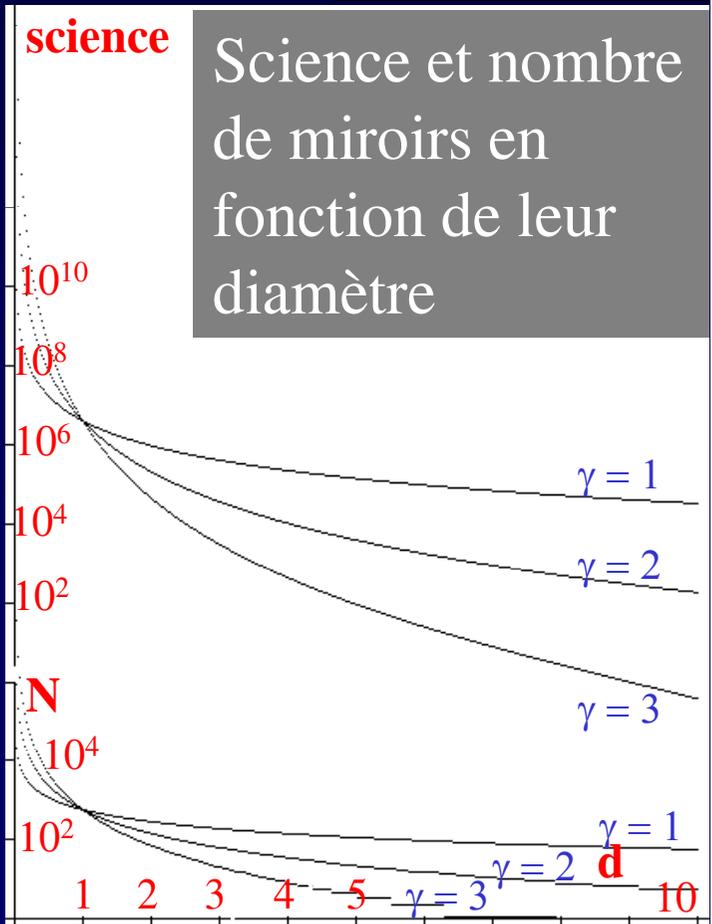
(Labeyrie et al., Exp. Astronomy, 2009)



- Champ encombré: le nombre max. tolérable d'étoiles croît en N^2
- Le diamètre du "Direct Imaging Field" est :
 - Infini pour un Fizeau
 - limité à λ/s avec pupille densifiée (s est la distance des ouvertures)
- Science vs. dimension des miroirs d , à coût donné $C_{pa} = N d^\gamma$, où $\gamma = 2$ à 3

$$Sc = C_{pa}^2 d^{-2\gamma} \left\{ \frac{7}{4} \log_2 C_{pa} + \left(1 - \frac{7\gamma}{4}\right) \log_2 d \right\}$$

- Fort gain en science si d diminue
- **1000 fois plus de science avec 10cm que 1m**
- Mais rétrécir jusqu'où ? Pas trop pour limiter la diffraction
- Exemple du " Laser Trapped Hypetelescope Flotilla" : 40,000 mirrors de 30mm pour égaler la surface collectrice du JWST

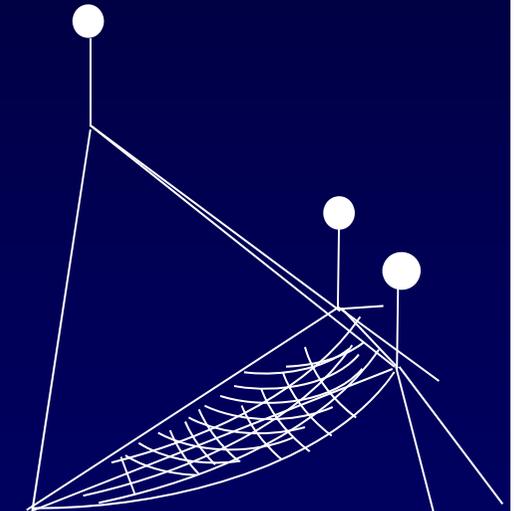
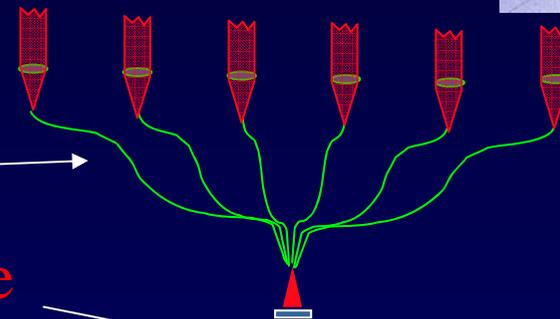


Types d' architectures hypertélescope

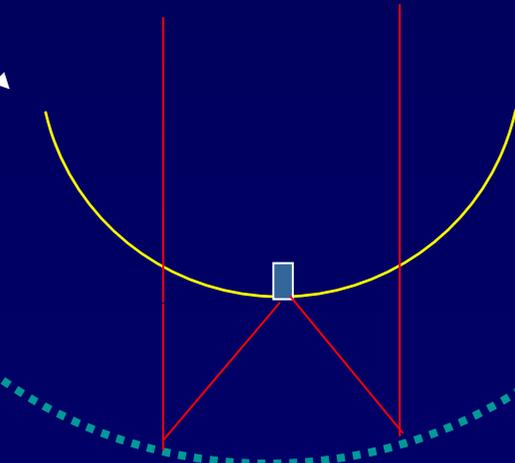
OVLA



- plat
- plat fibré
- Paraboloïde **pointable**
- sphérique "Carlina"

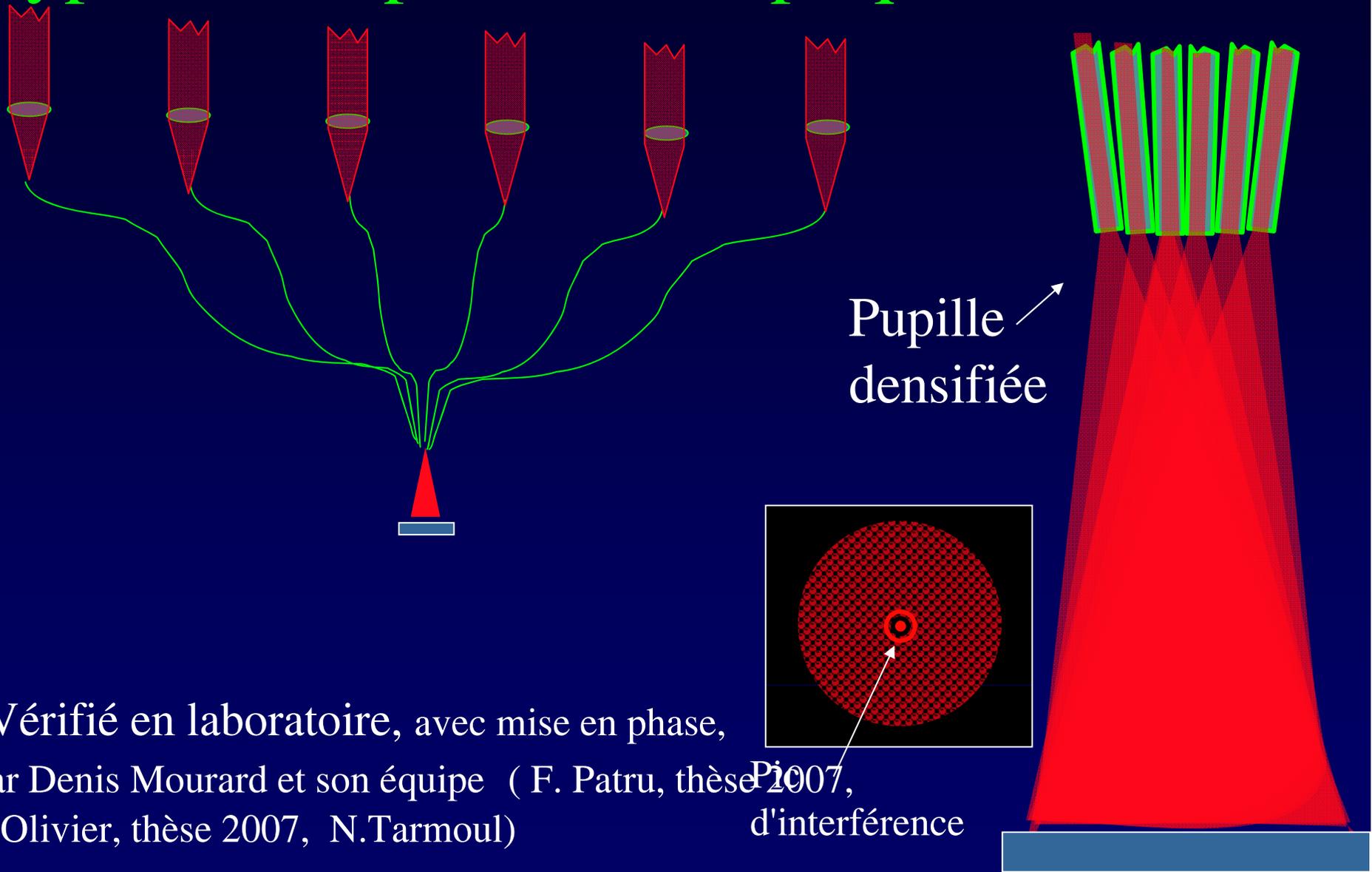


Carlina acanthifolia



Convient aussi pour flotille dans l'espace

Hypertélescope à fibres optiques



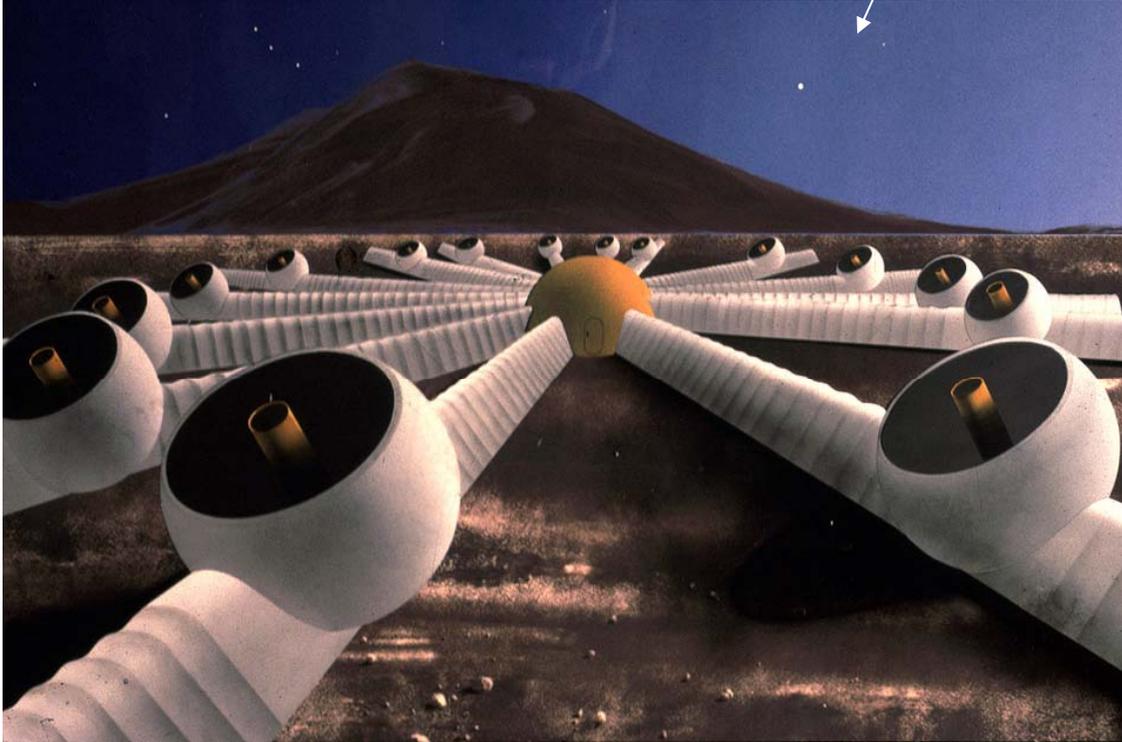
- Vérifié en laboratoire, avec mise en phase, par Denis Mourard et son équipe (F. Patru, thèse 2007, S.Olivier, thèse 2007, N.Tarmoul)

- proposé pour coronographie par Serabyn (2007)

Interféromètres:

Concepts initiaux (ca. 1990)

Optical Very Large Array

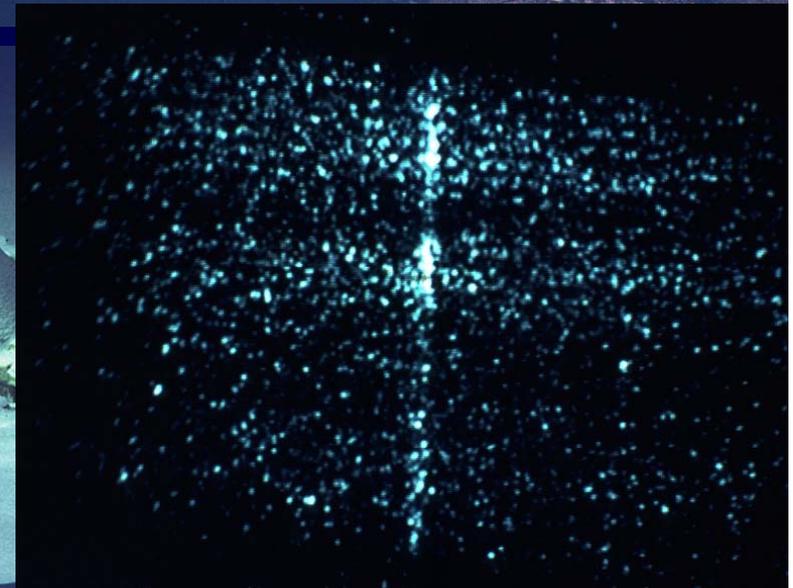


Lunar Optical Very Large Array



Grand Interféromètre à 2 Télescopes (GI2T)

- 10 ans pour le construire
- Motiva la construction de VLTi et Keck



gamma Cass (Mourard et al. , Nature, 1989)

Interféromètres en optique:

au stade actuel : seulement 2 ou 3 ouvertures simultanées



Very Large Telescope Interferometer (Chili)

QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

- Ils utilisent des lignes à retard complexes ...
- dont le coût élevé limite sévèrement le nombre d'ouvertures

... puis dans l'espace

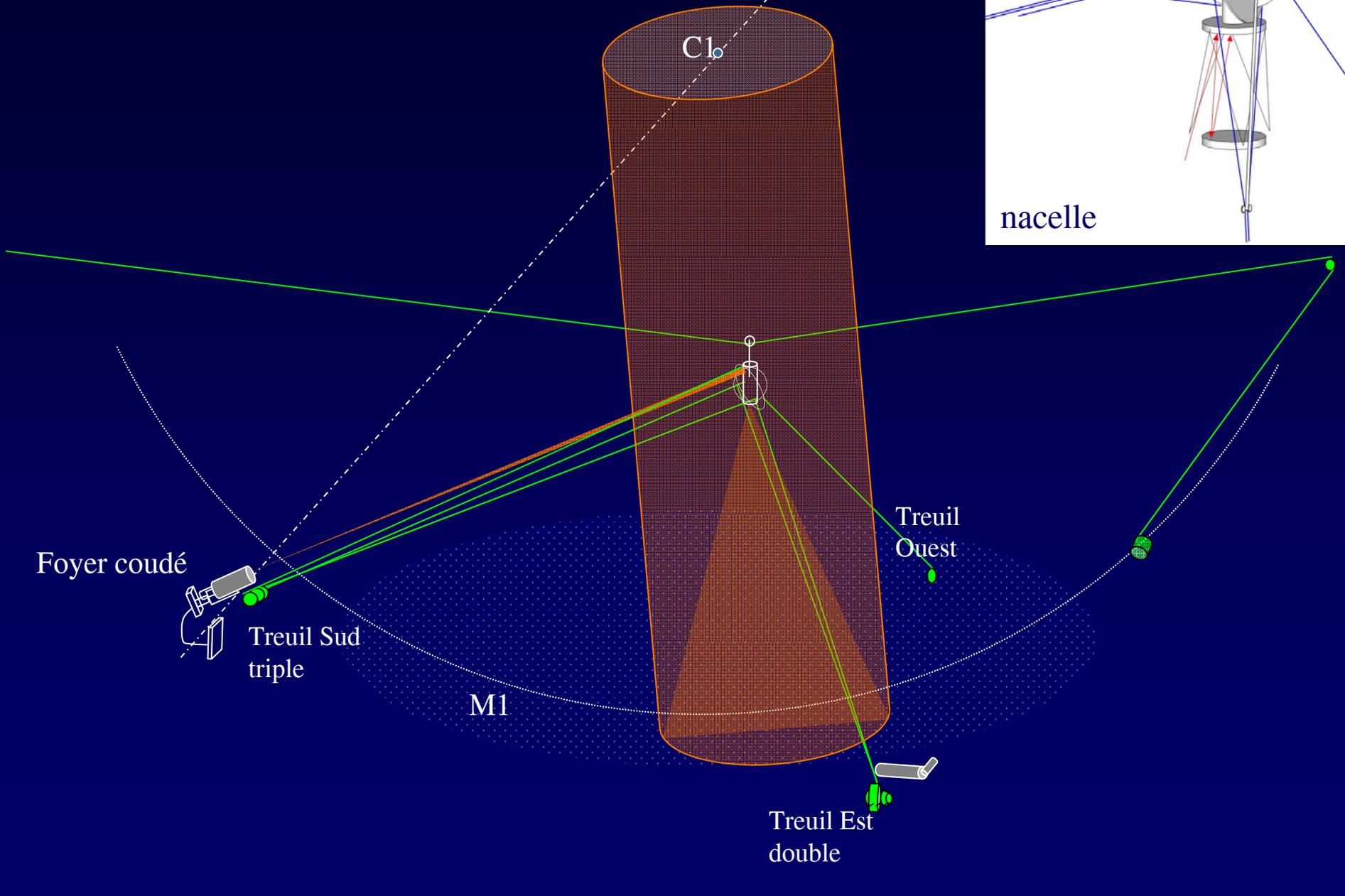
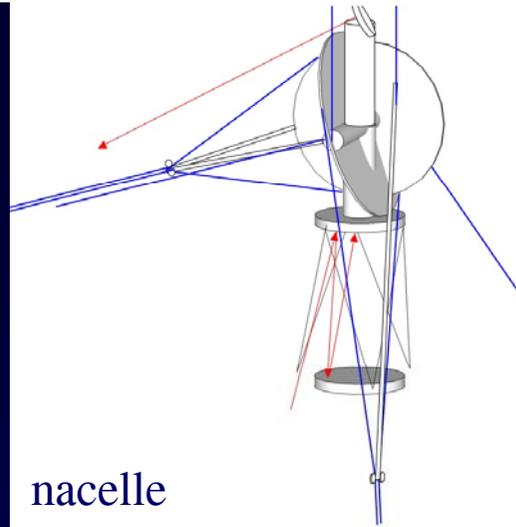
QuickTime™ et un décompresseur
Photo-JPEG sont requis pour visualiser
cette image.

Simulation pour
Exo-Earth Imager

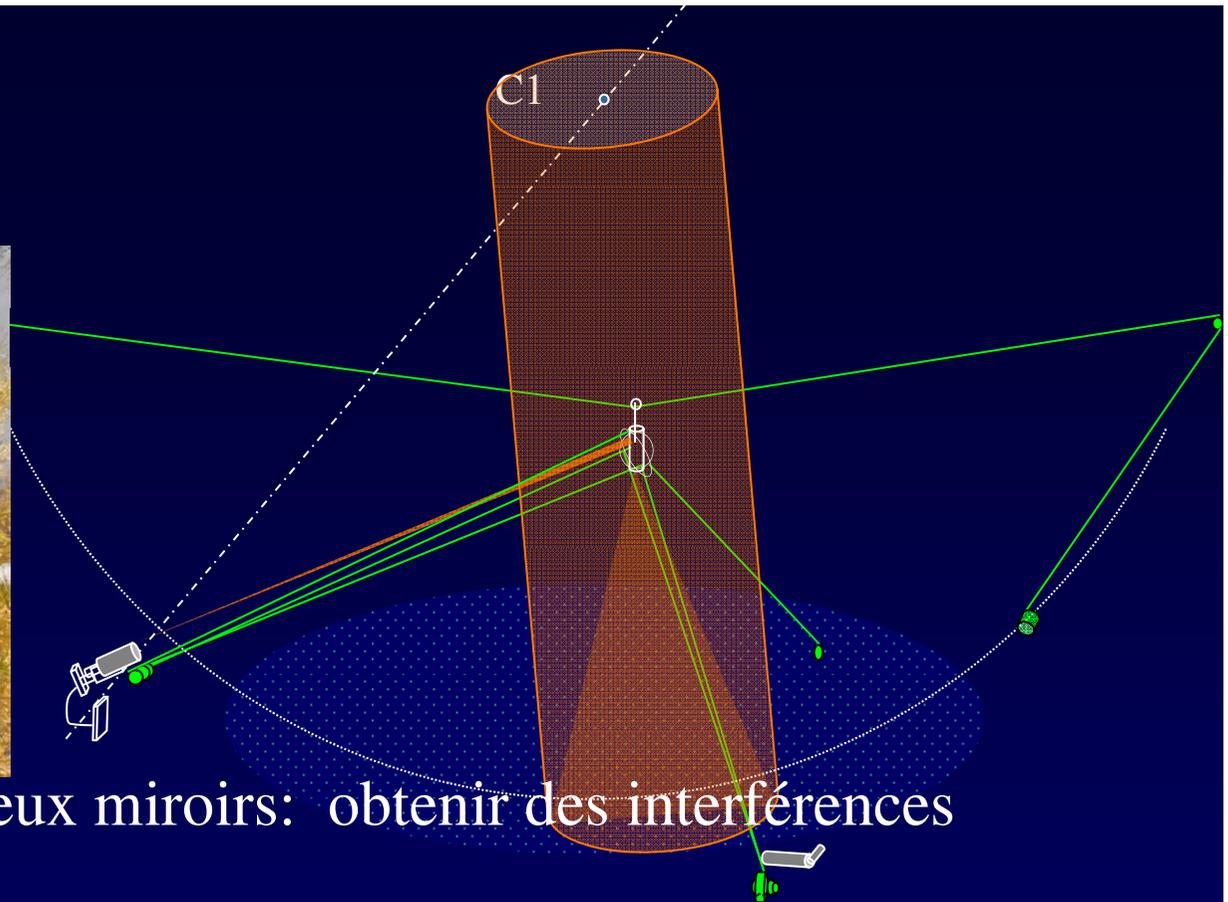
- Flotille sphérique ou parabolique pointable
- Piégée par laser ?

Hypertélescope Ubaye (essai en cours)

Nord
céleste

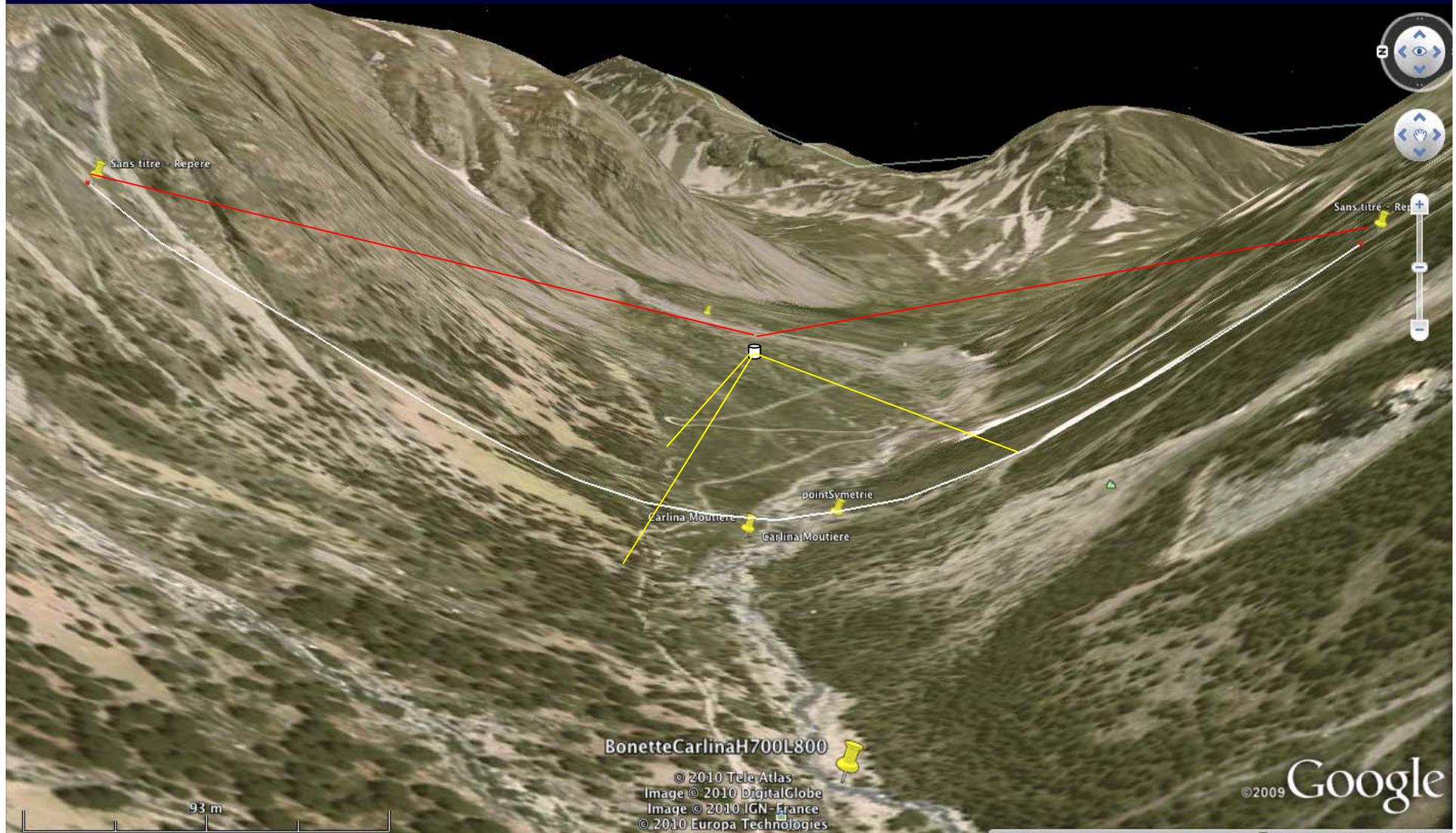


Hypertélescope Ubaye: Perspectives



- premiers essais avec deux miroirs: obtenir des interférences
- ensuite:
 - Automatisation du pilotage
 - agrandissement à 200m ? installation de 100 miroirs
 - observation sans optique adaptative, puis avec
 - essais d'étoile guide laser
 - proposition d'un "Kilometric hypertélescope" européen

Site des essais entamés dans l'Ubaye



Paturage à bouquetins et chamois



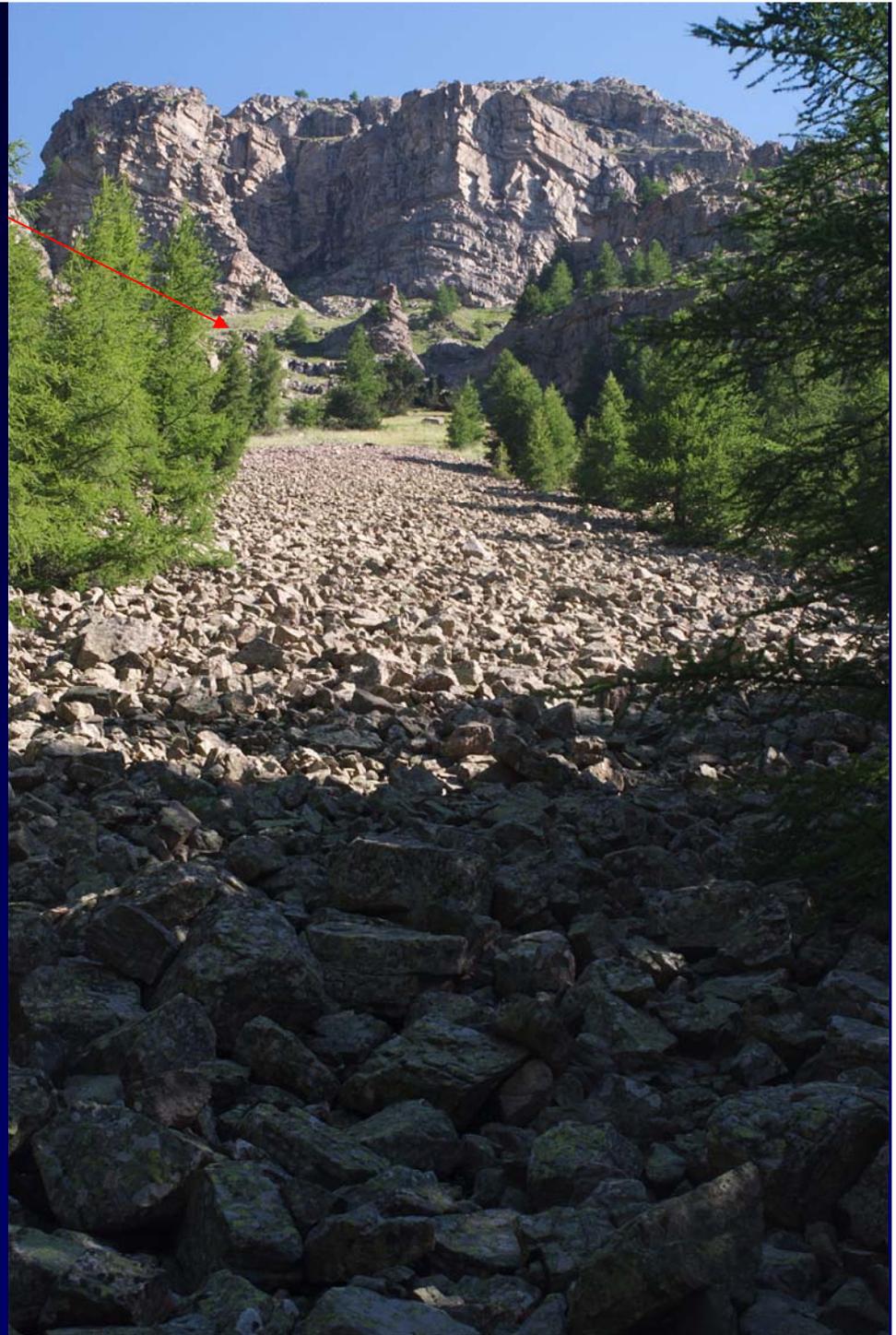
Câble de suspension traversant la vallée sur 800m, en Kevlar de 6mm



Hubac vu de l'adret



Amarrage du câble porteur
dans l'adret



Hubac



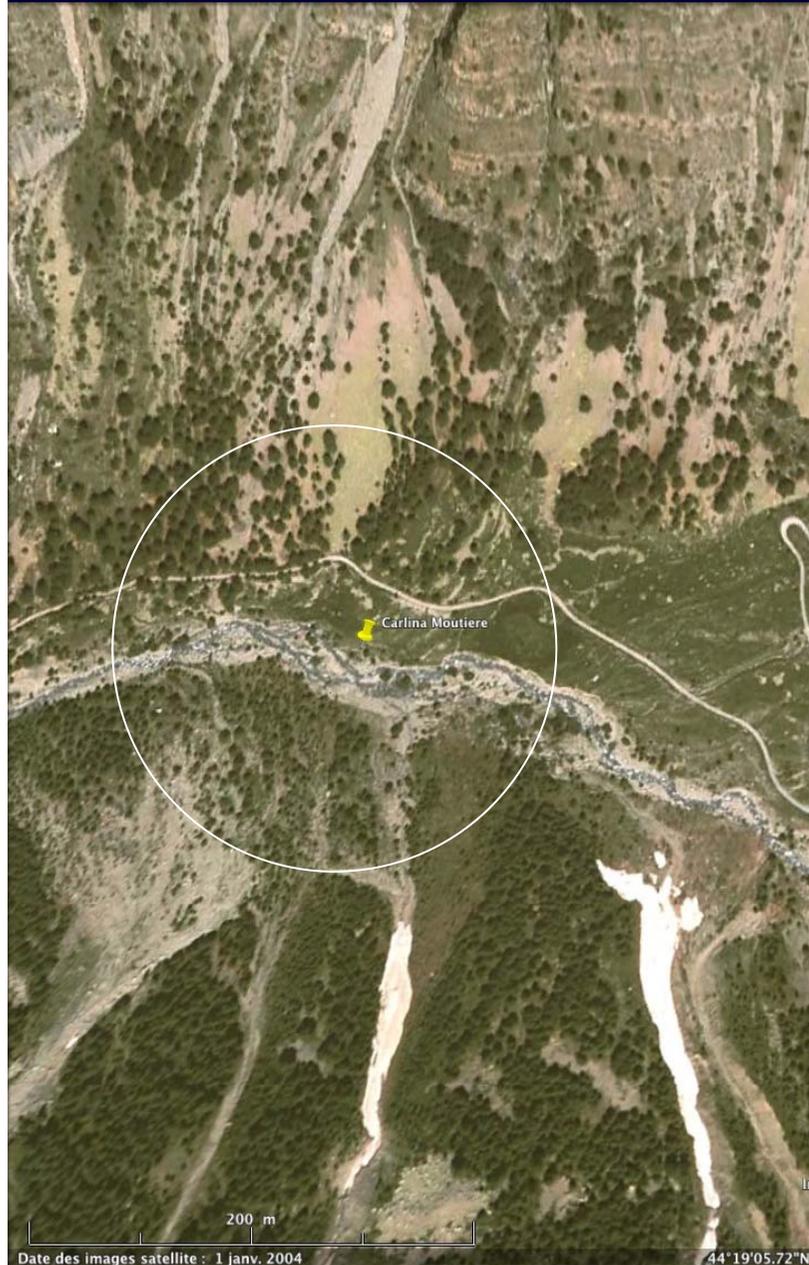
câble



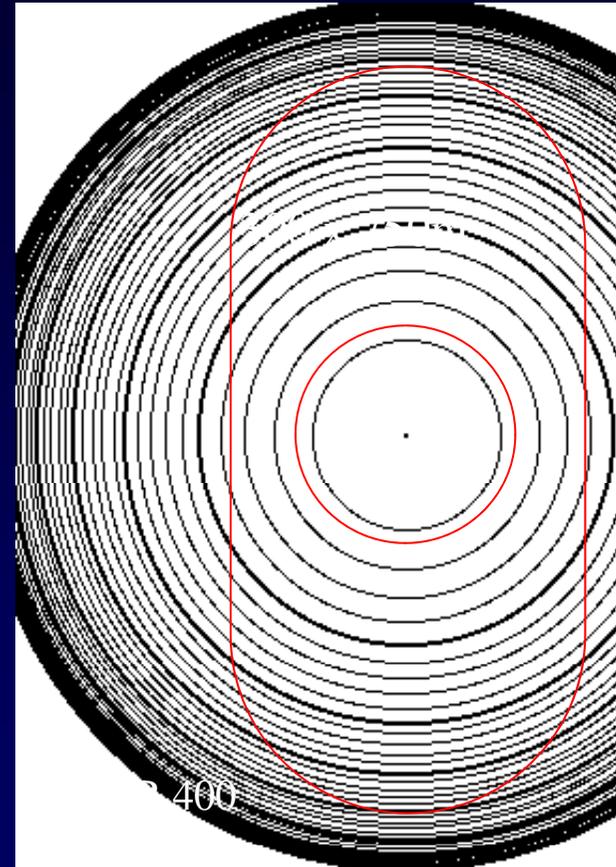
Vallon de la Moutière, Ubaye

Implantation d'une ouverture de 200m

Conclusions

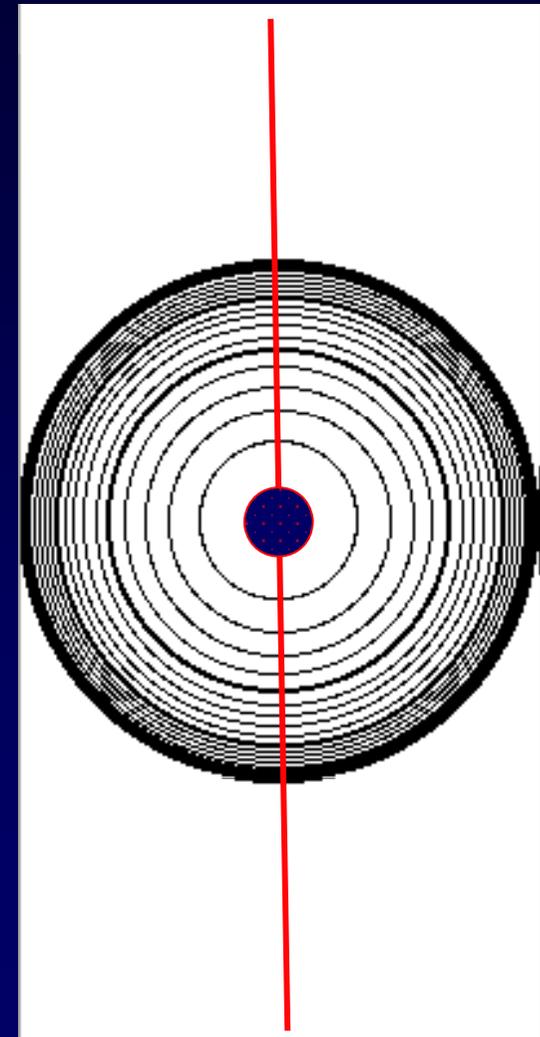
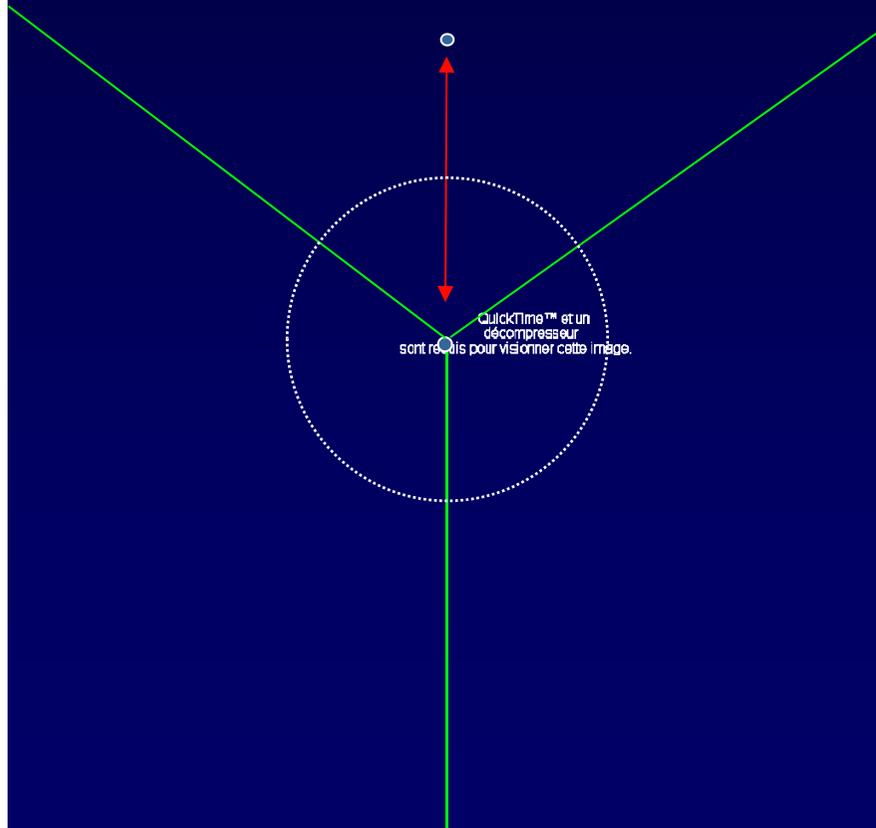


R 360
valanches
Click here to view the image.
decompresseur
pour visionner cette image.



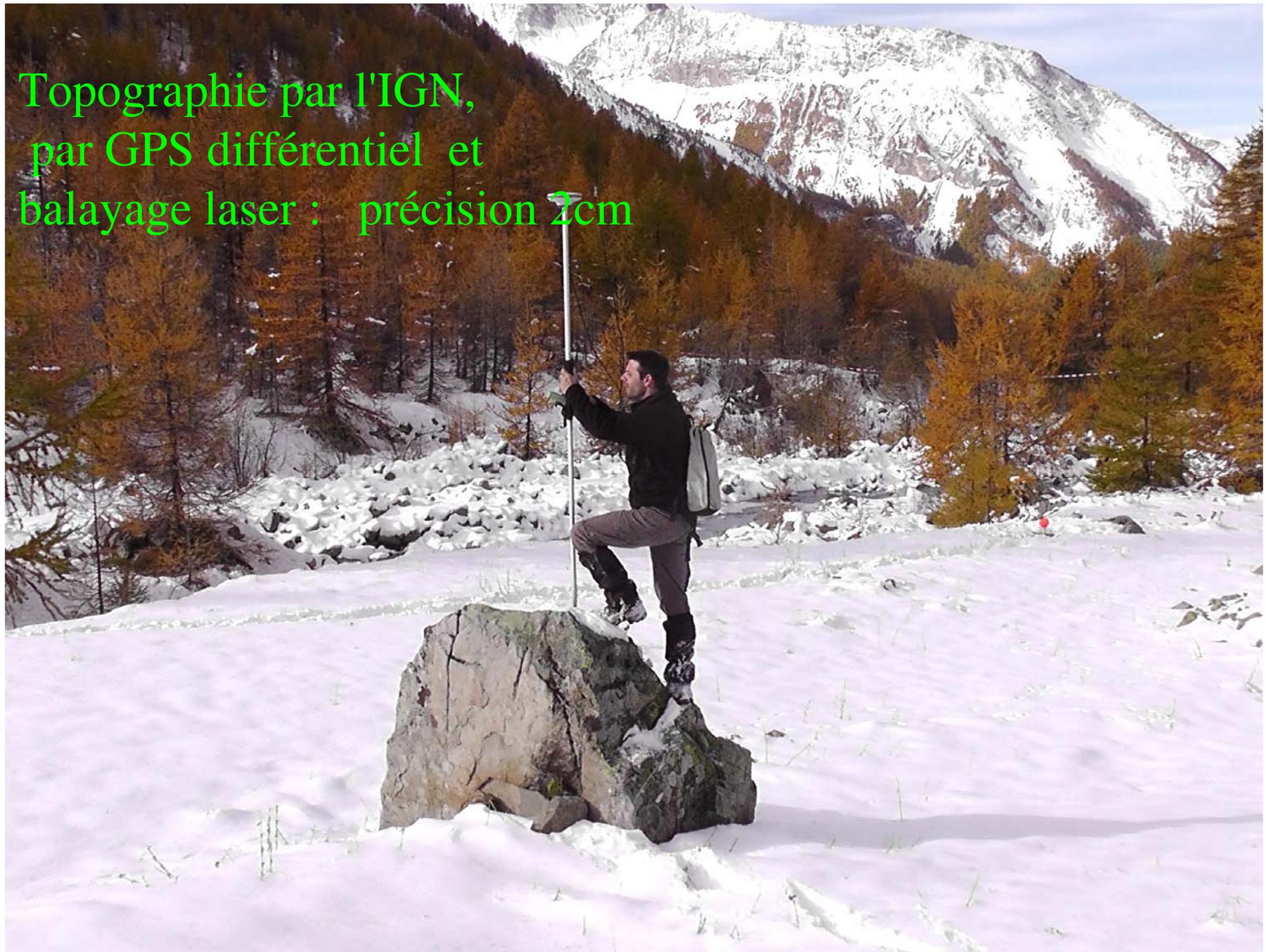
Vallon de la Moutière, Ubaye

Implantation d'une ouverture
initiale de 57m



Lignes de niveau : 10m

Topographie par l'IGN,
par GPS différentiel et
balayage laser : précision 2cm



Ecarts à la sphère théorique de rayon 200m, mesurés en 340 points

100 m

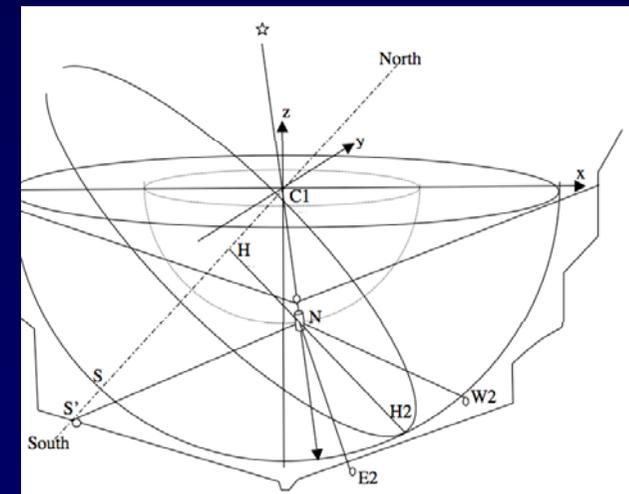
Vue du Sud

Vue de l'Est



Vue du zenith

QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.



L'un des supports de miroirs déjà positionnés à la Moutière (Ubaye, altitude 2100m)

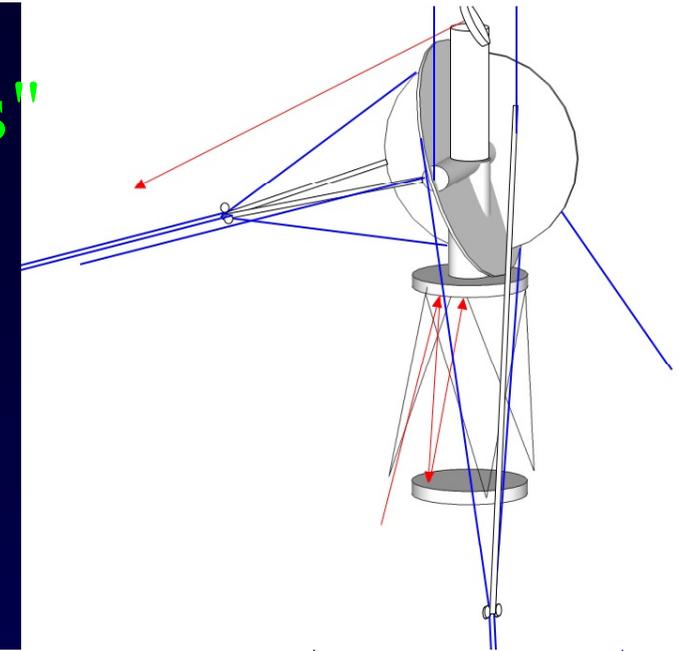


Alignement des miroirs, par théodolite-laser



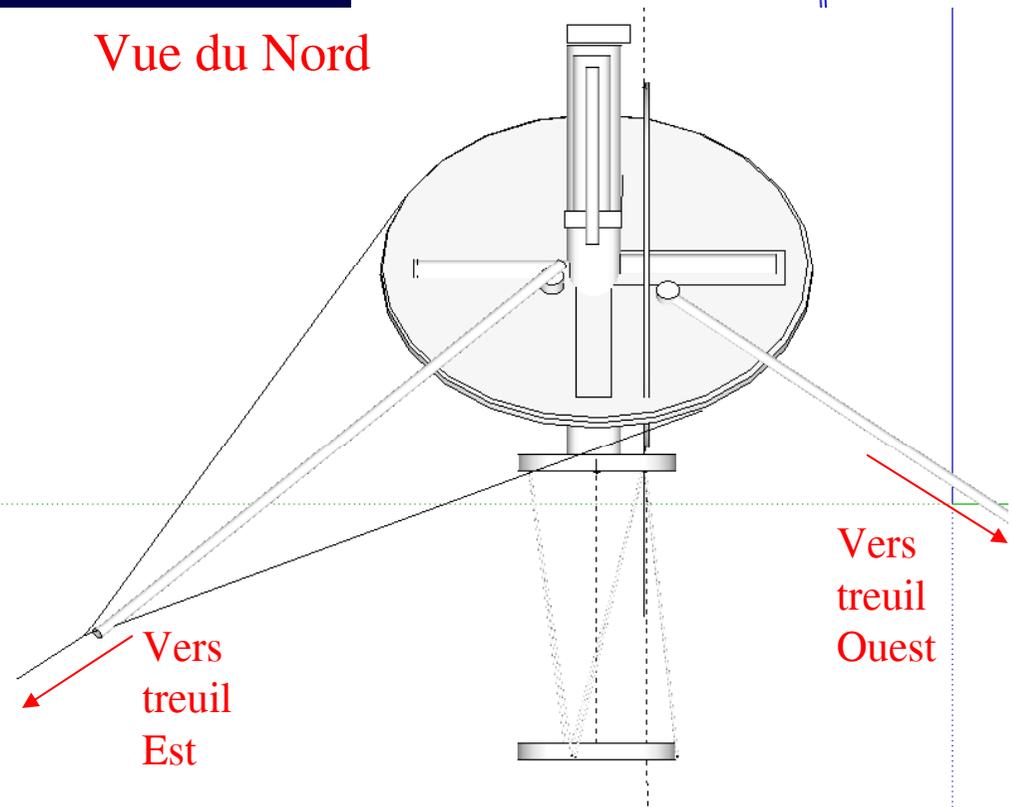
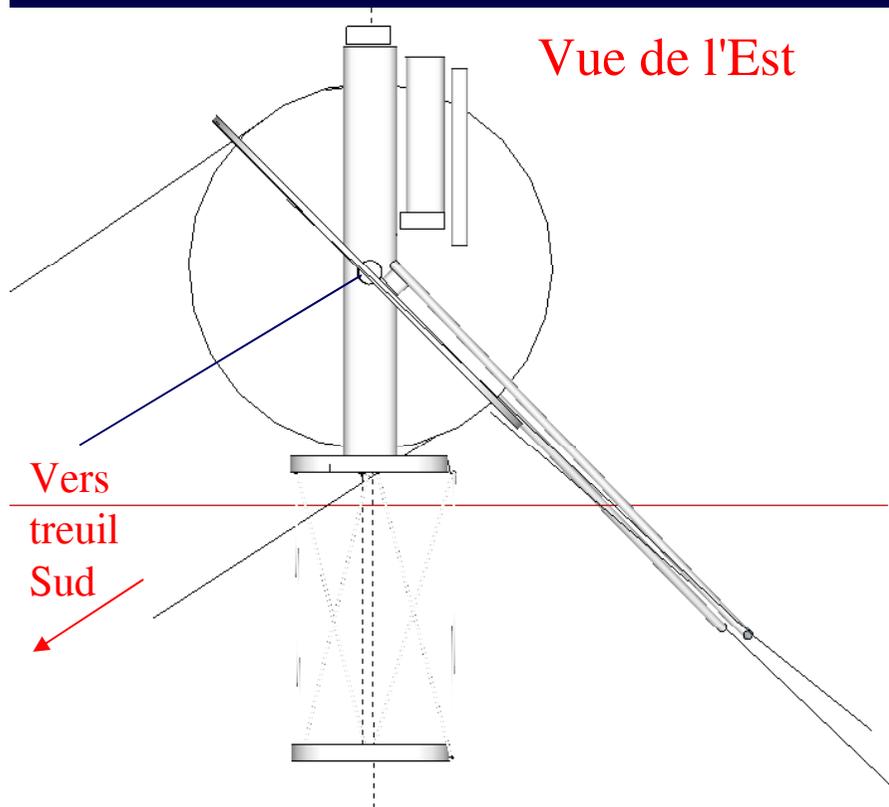
Nacelle focale "marionnette à 6 fils"

- Pré-étude du pilotage faite par N.Palitzyne et J.R.Poletti (2010)



Vue de l'Est

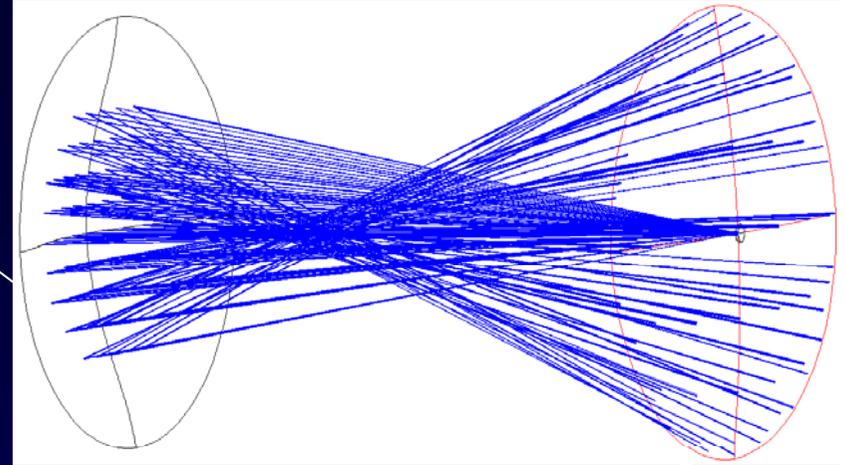
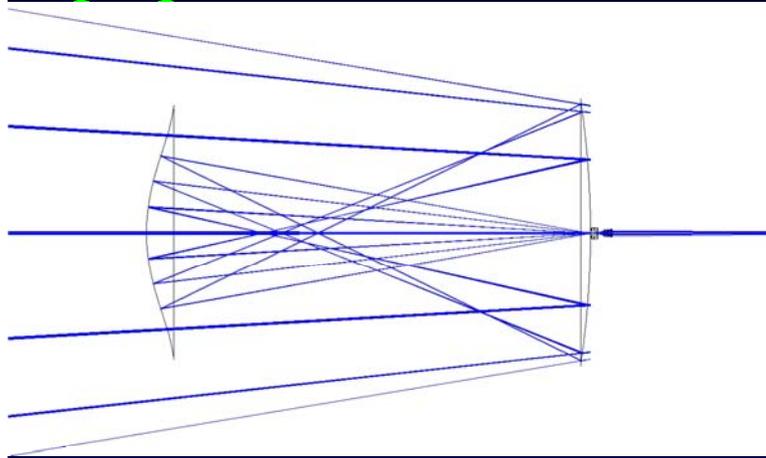
Vue du Nord



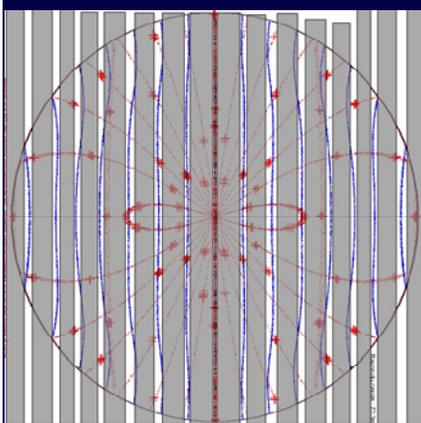
Nacelle focale suspendue



Optique focale dans la nacelle: correcteur à deux miroirs



M3



Découpes de M3
diminuant
l'obstruction



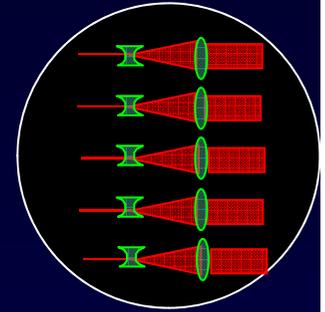
Optique focale:

Découpeur de champ et densifieur multiple

5x5 champs de 1"

Image Fizeau
10mm /"

densifieurs



Viseurs d'alignement

Miroir de renvoi coudé

M3

M2



Matrice de M3,
taillée au tour
diamant (Savimex)

En attendant les versions spatiales...

Proposer une version agrandie : 500 à 1500m

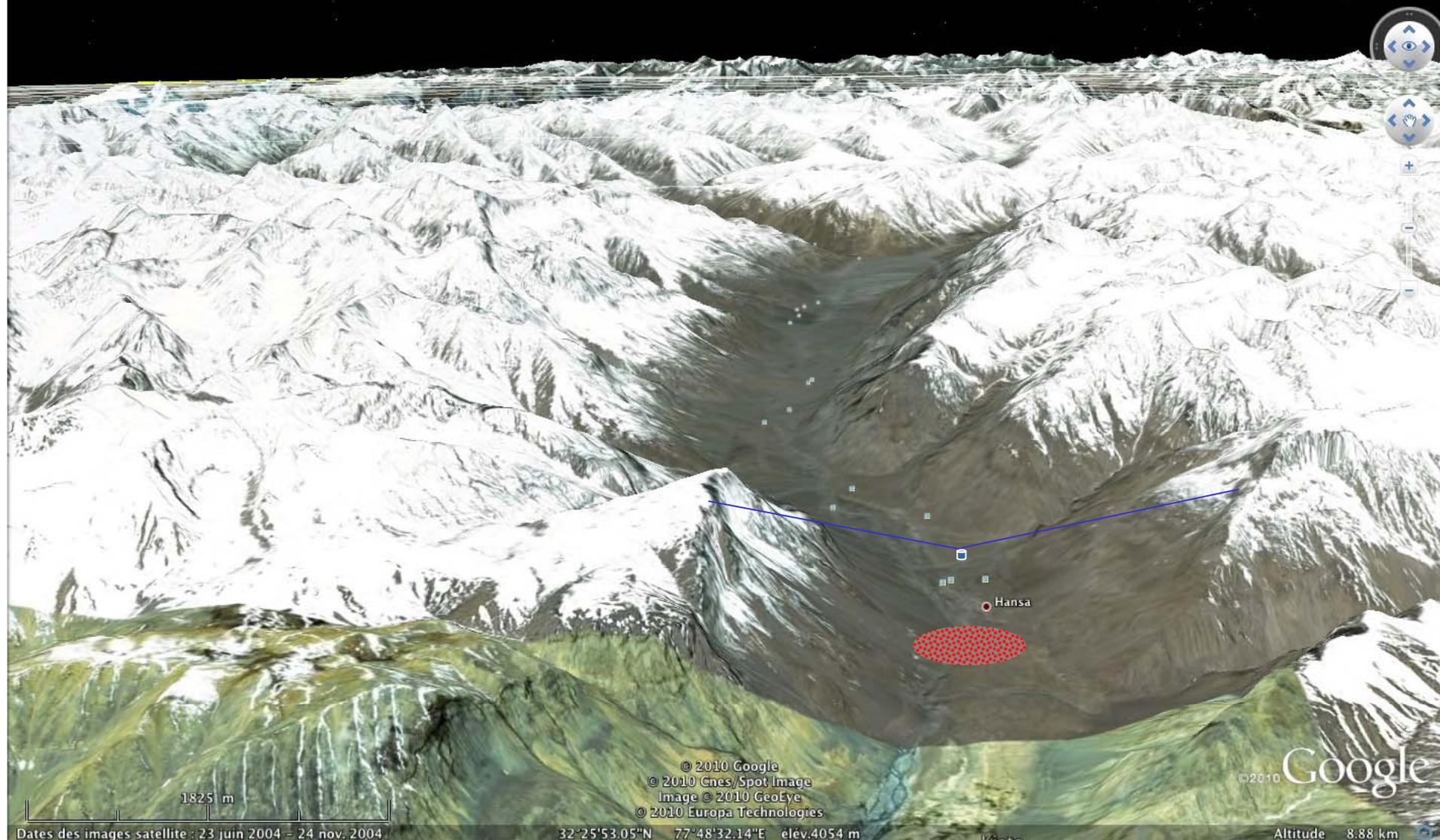
- dans une profonde vallée de l'Himalaya ou des Andes
- structure économique et modulaire sans monture ni coupole
- science: physique stellaire, extra-galactique, cosmologie si étoile guide laser

Exemple: vallée de Hansa (Himalaya)



- Altitude 4000m
- ouverture 600m (Ubye x 10) nécessite :
 - profondeur de vallée 2000m
 - diamètre M2 et M3 1,44m
- point à élucider: faisabilité d'une étoile guide laser, pour cophasage des objets faibles (simulation en laboratoire entamée, encourageante)

Himalaya (site repéré sur Google Earth par Rijuparna Chakraborty)



à 16h: discussion table ronde

"Vers la proposition d'un grand hypertélescope à ouverture de 500-1500m : quelle science ? quel site ? quel concept ?

Dans les locaux du colloque R&D INSU



Collaborations

- Prototype à l'Observatoire de Haute Provence: Hervé Le Coroller et Julien Dejonghe
- Concept optique: André Rondi (astronome amateur), Rijuparna Chakraborty
- Modélisation intégrée, opto-mécanique: Torben Andersen, Mette Owner-Petersen & Anita Enmark (Univ. Lund, Suède) **colloque en Aout à Kiruna**
- Topographie IGN Marion Gaudon & Loic Evrard
- Bénévoles

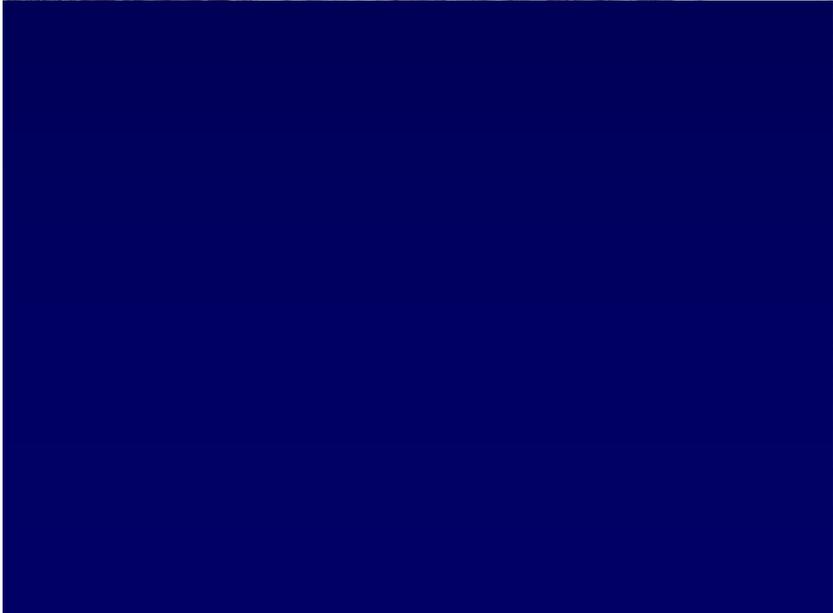
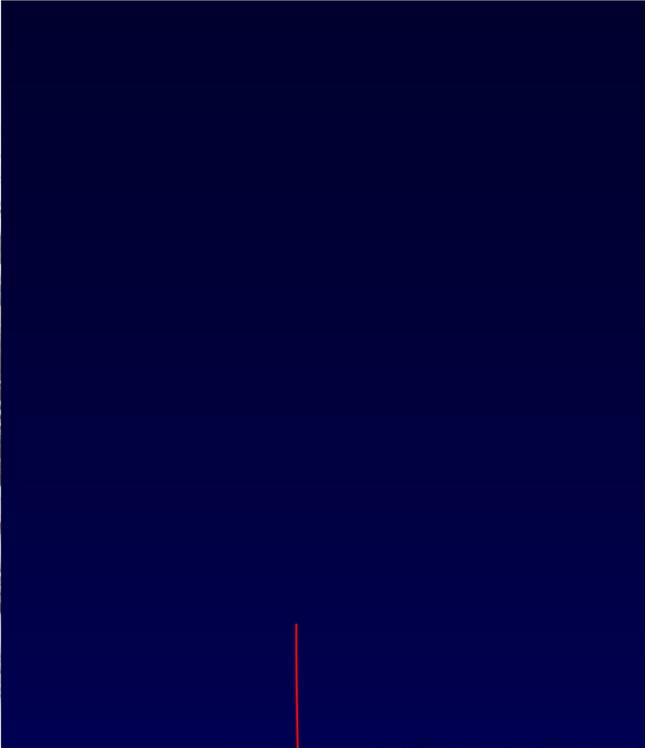
Les hommes et la science...

... depuis 700 000 ans ?

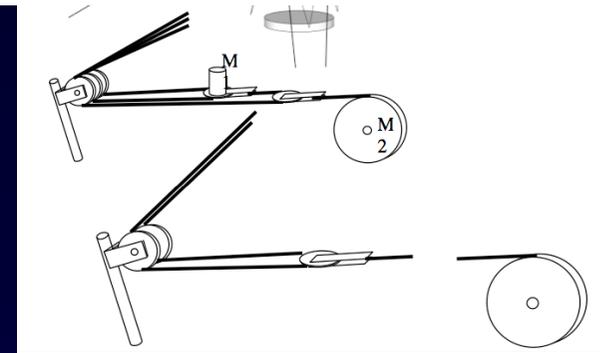
- Ils regardaient les étoiles... des oiseaux le font aussi
- ils observaient la nature ...
- la science des hommes a co-évolué avec leur cerveau

Mieux voir: interférométrie, hypertélescopes

- Faire des optiques géantes, en pointillés



Nacelle: 6 treuils pilotent la position et l'orientation



QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

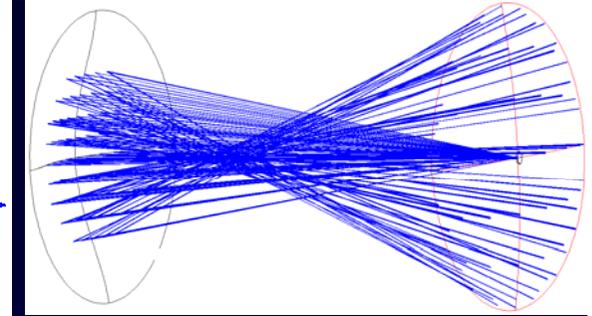
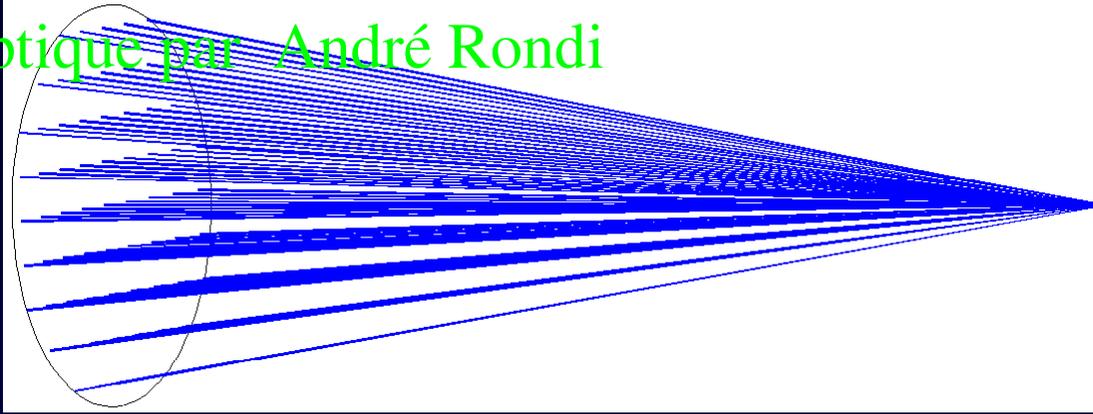
Tripode support de miroir

3 prototypes pour essais

- ancrage par pieux
- stabilité voulue: quelques microns

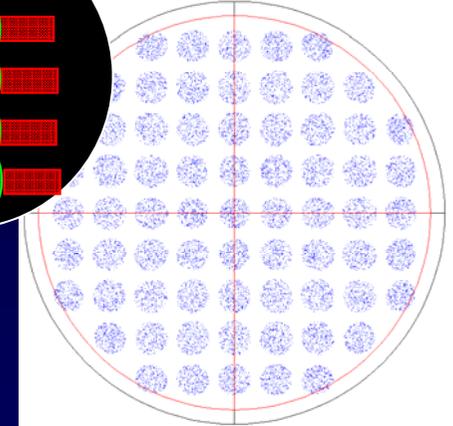
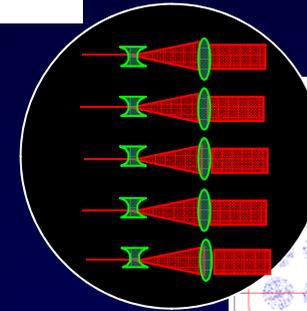
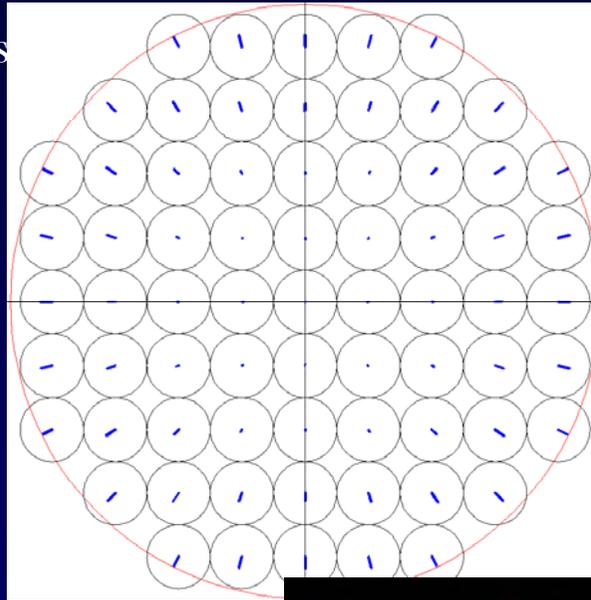


Etude optique par André Rondi



Miroir M1 dilué de 30,6m (agrandiss
à 57m):
69 miroirs de 15cm, pas 3,8m

Correction de
distorsion de
pupille



Pupille densifiée

QuickTime™ et un
décompresseur codec YUV420
sont requis pour visionner cette image.

QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

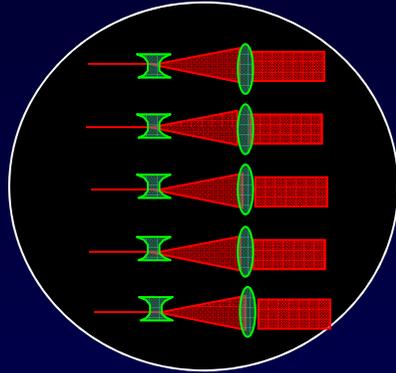
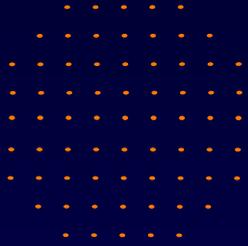
Binaire... et turbulence

Binaire 1m"

Binaire 2m"

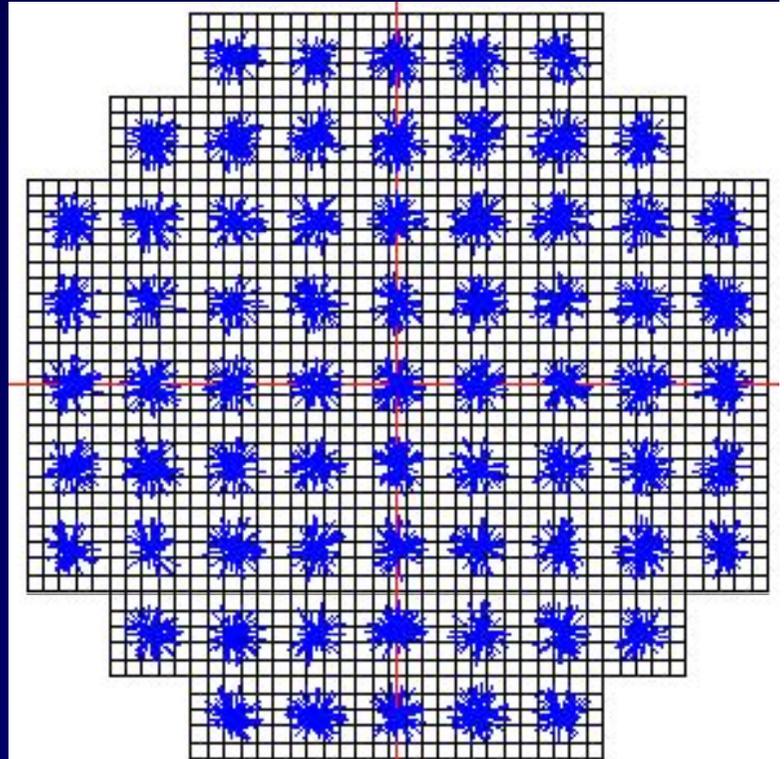
Etude optique

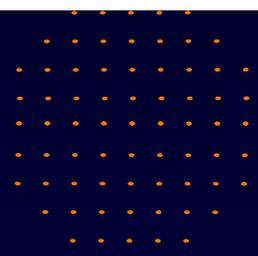
Densifieur de pupille



La densification $\times 19$ intensifie l'image
361 fois

Rayons dans l'un des densifieurs





Etude optique

Aberrations extra-axiales (coma, astigmatisme) et champ utilisable dans chaque sous-champ

Image d'une étoile

Image Fizeau

QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.

QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.

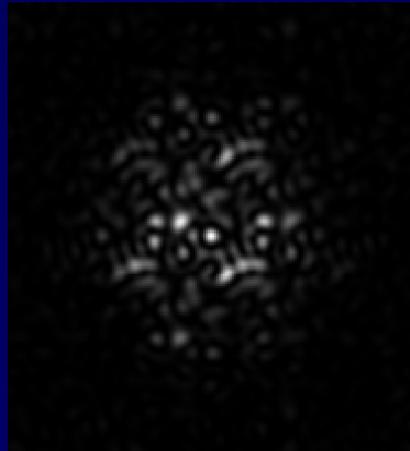
densification x19



Etoile hors-axe 0,4"

QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.

QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.



QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.

