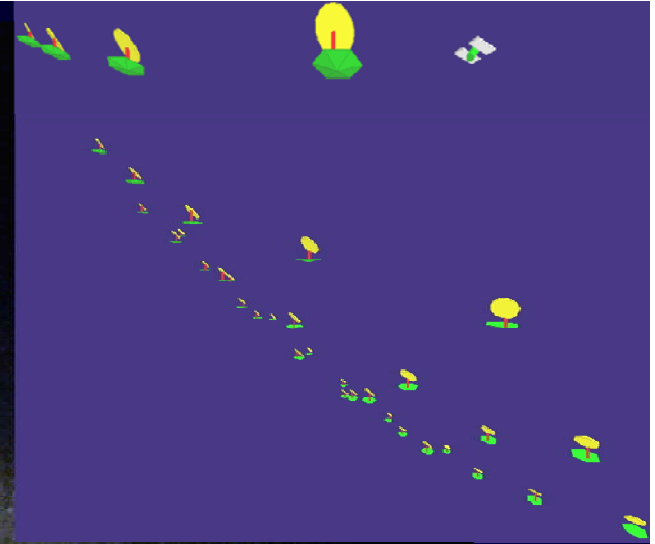


# Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation

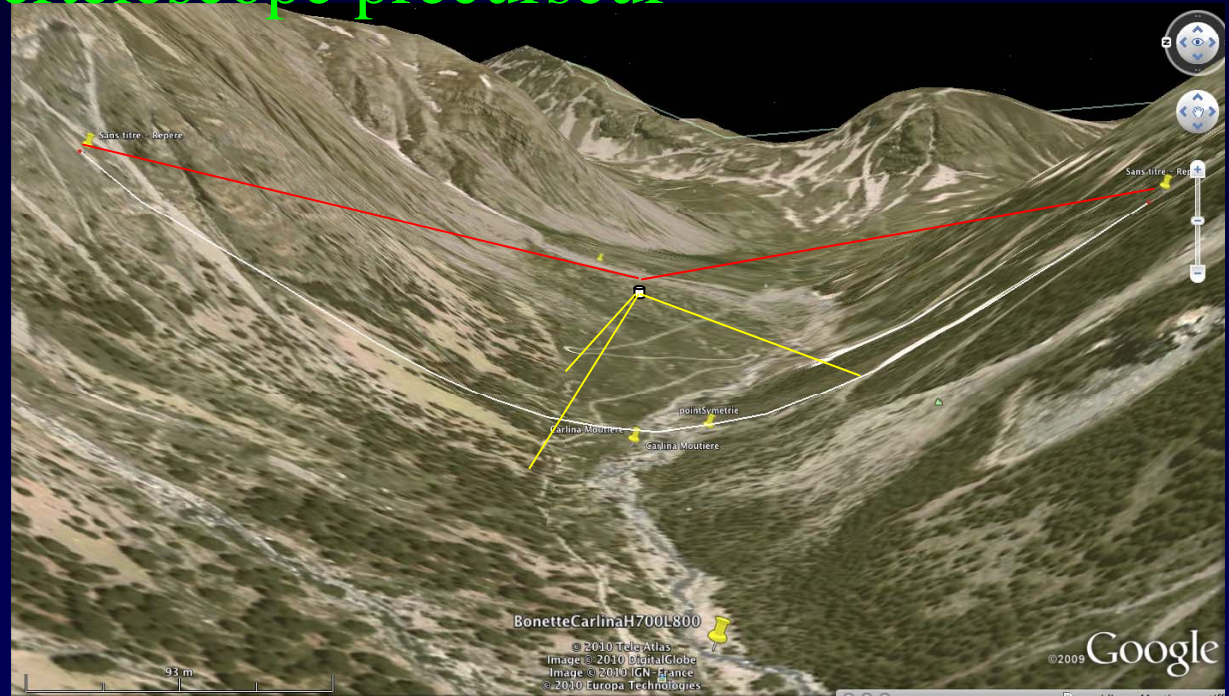


- Fichiers des cours précédents sur: [www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast\\_obs/annee\\_20082009.htm](http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast_obs/annee_20082009.htm)
- Articles sur: [www.oamp.fr/lise](http://www.oamp.fr/lise)

- **16 et 23 Février : les cours et séminaires n'auront pas lieu** (vacances scolaires)
- 2 Mars:
  - Cours 4: Utiliser les anneaux de Saturne comme télescope géant ?
  - Séminaire: **Anthony Boccaletti "Imagerie des exoplanètes: techniques et projets instrumentaux"**
- 9 Mars:
  - Cours 5: à préciser
  - Séminaire: **Jean Schneider "Les perspectives à long et très long terme de l'exoplanétologie: optimisme ou pessimisme?"**
- 16 Mars:
  - Cours 6: Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser
  - Séminaire: **Andrea Chiavassa "La surface tachée de Betelgeuse: un zoom sur sa dynamique atmosphérique"**
- **11 - 13 Mai: cours et séminaires à Grenoble**

aujourd'hui:

## Essais d'un hypertélescope précurseur



- A 15h:  
séminaire de Pierre Kervella ( Observatoire de Paris-Meudon)  
« La supergéante rouge Bételgeuse à haute résolution angulaire »







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



découverte de la semaine:

## 6 nouvelles exo-planètes en transit ...

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



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

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

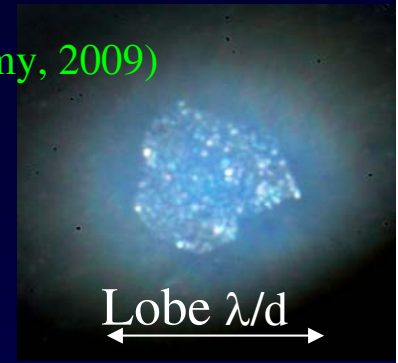
Courbe de lumière

Éclipses  
moyennées

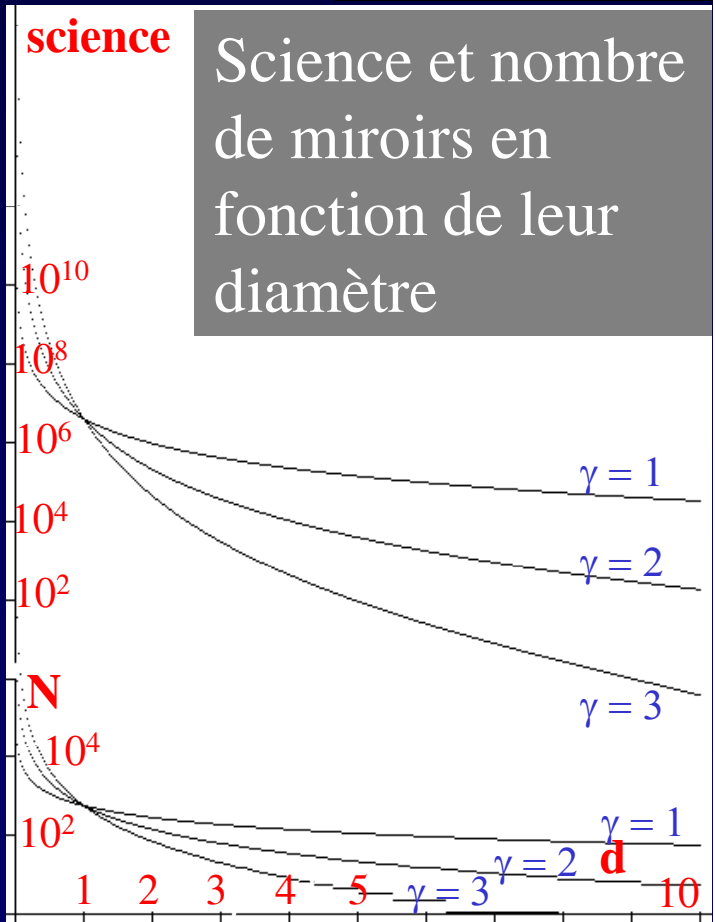
## Interféromètre ou hypertélescope:

# Ouvertures petites et nombreuses: le gain en science

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



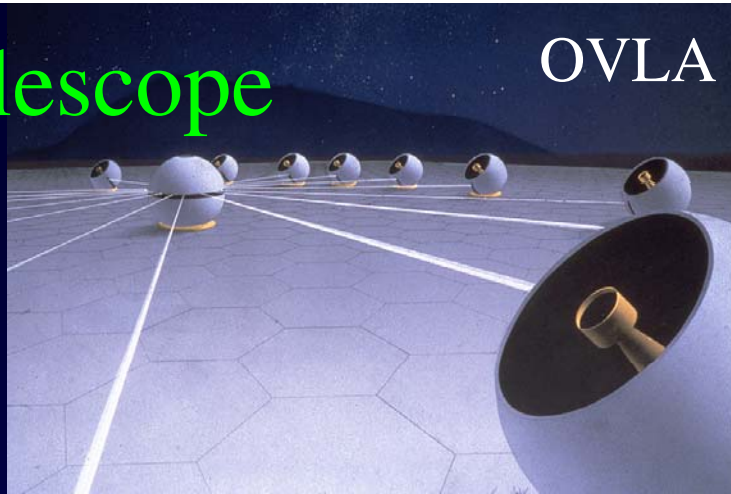
- Champ encombré: le nombre max. tolérable d'étoiles croît en  $N^2$
- Le diamètre du "Direct Imaging Field" est :
  - Infini pour un Fizeau
  - limité à  $\lambda/s$  avec pupille densifiée (  $s$  est la distance des ouvertures)
- Science vs. dimension des miroirs  $d$ , à coût donné  $C_{pa} = N d^\gamma$ , où  $\gamma = 2$  à  $3$
- **$Sc = C_{pa}^2 d^{-2\gamma} \{ (7/4) \log_2 C_{pa} + (1-7\gamma/4) \log_2 d \}$**
- 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



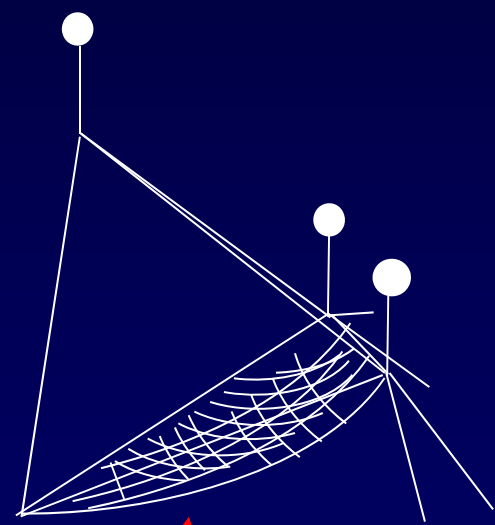
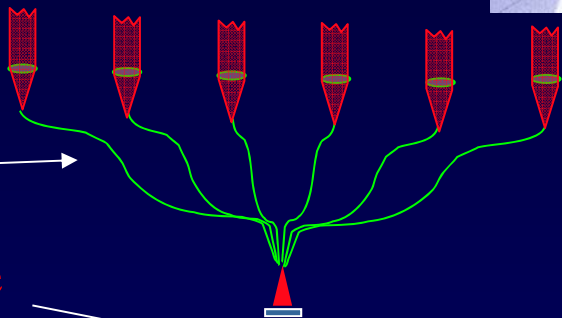


# Types d' architectures hypertélescope

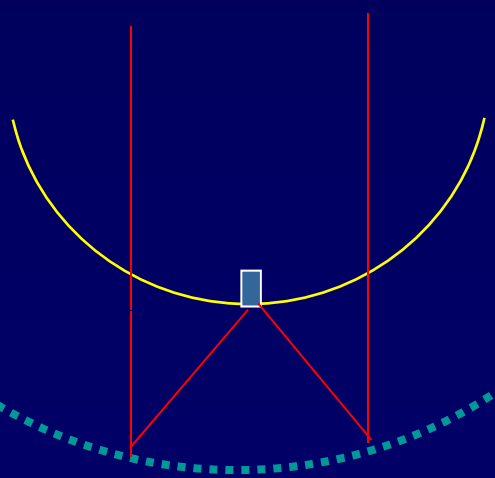
OVLA



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



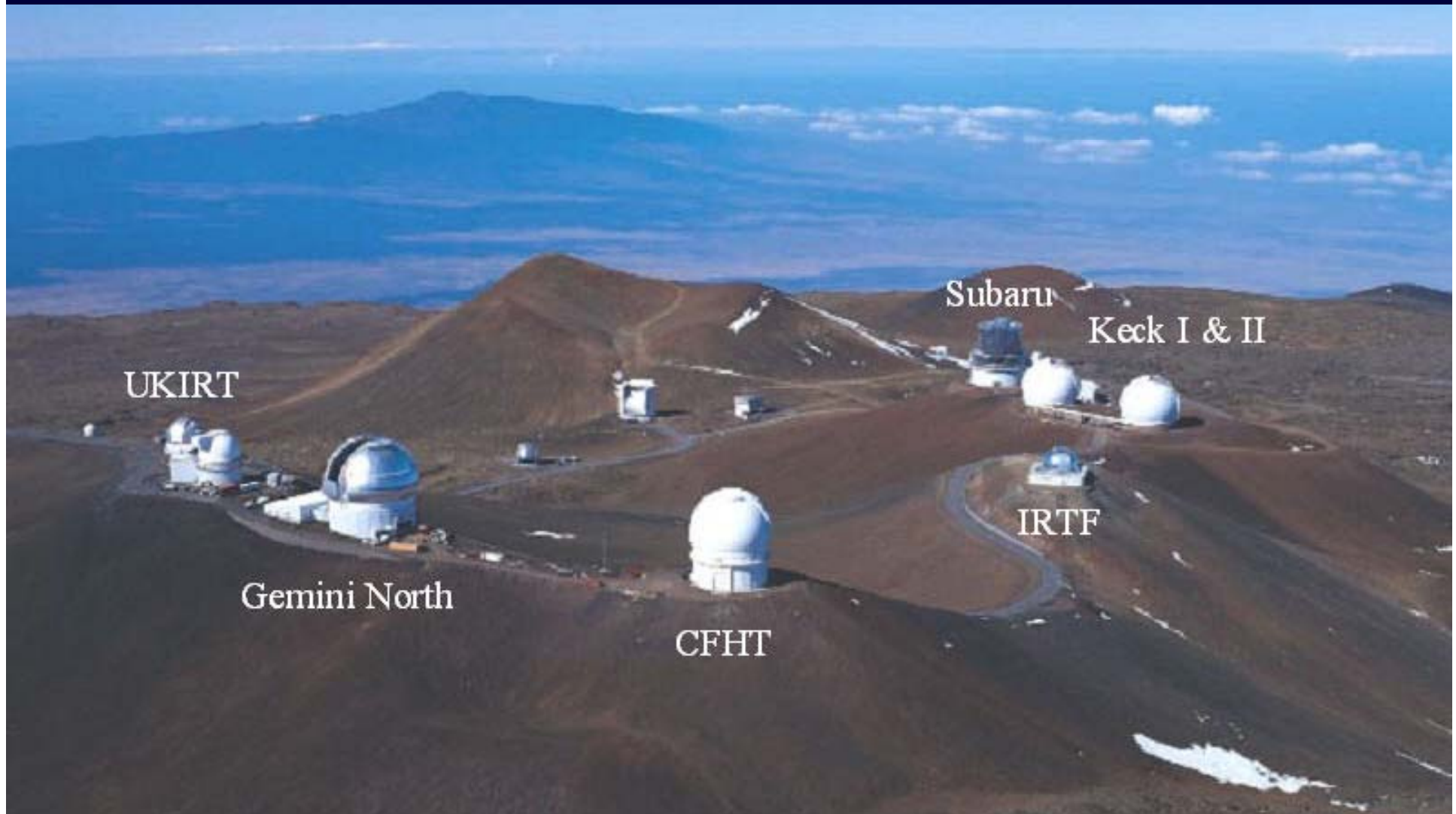
Carlina acanthifolia



Convient aussi pour flotille dans l'espace

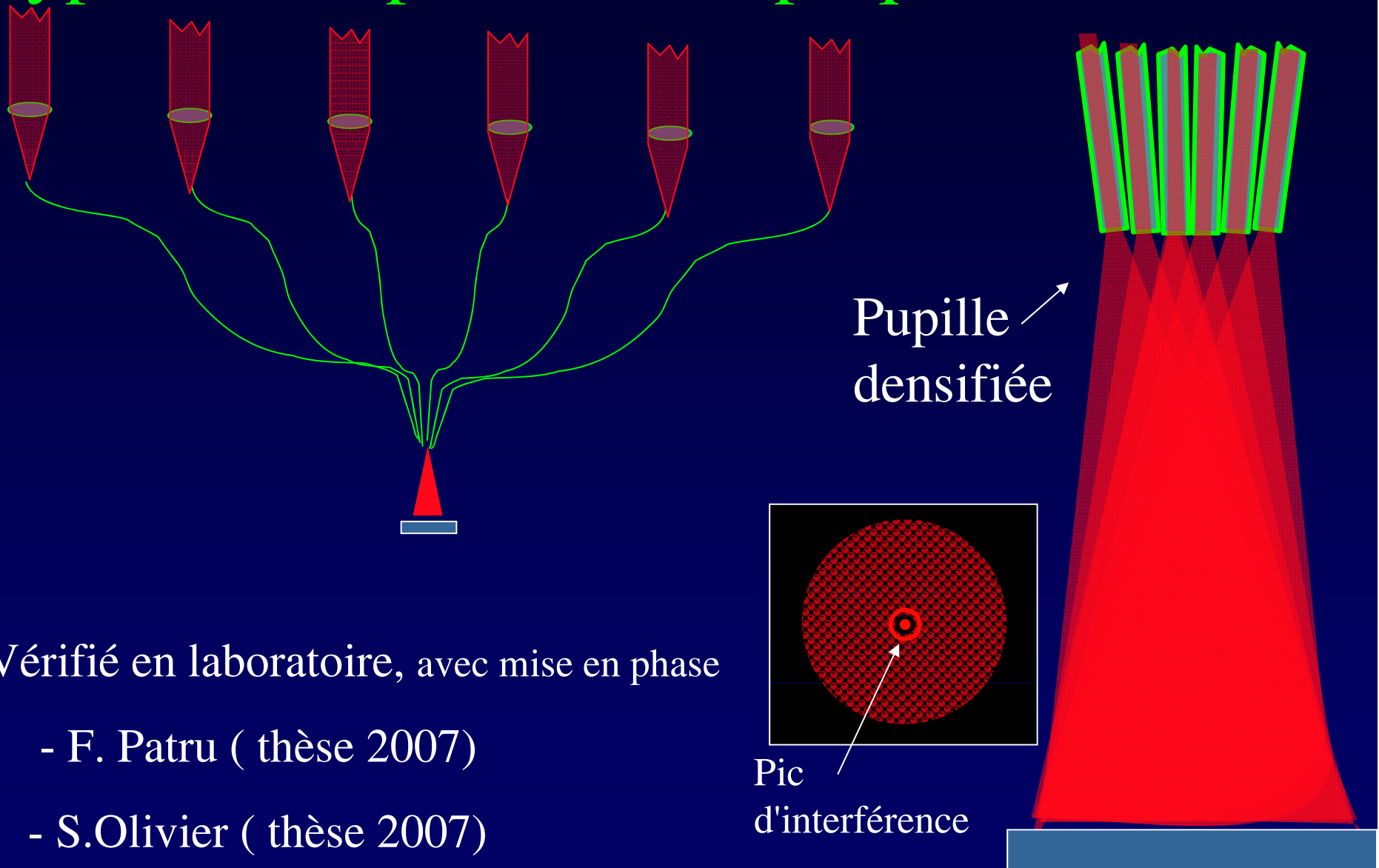
# Interférométrie à travers des fibres optiques

- Essais par Guy Perrin à Mauna Kea, Hawaii
- projet OHANA de coupler les grands telescopes
- Nécessite de grandes lignes à retard





# Hypertélescope à fibres optiques



- Vérifié en laboratoire, avec mise en phase

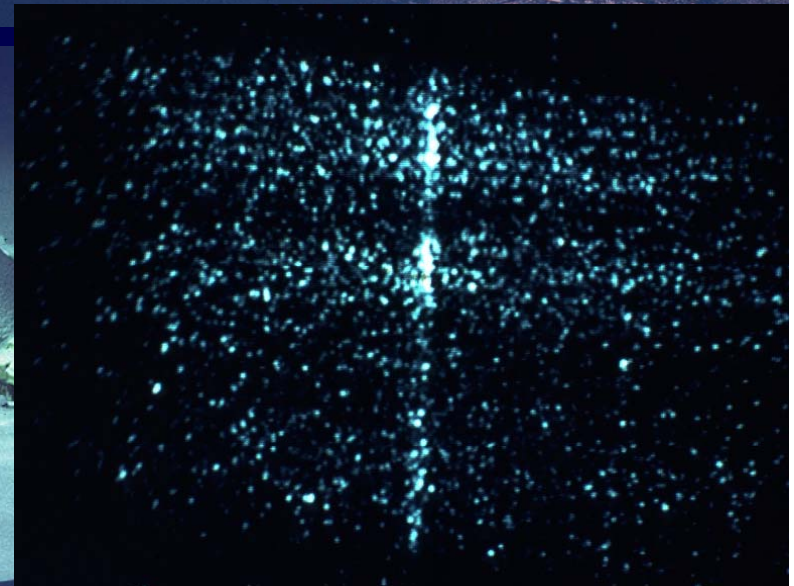
  - F. Patru ( thèse 2007)

  - S.Olivier ( thèse 2007)

- proposé pour coronographie par Serabyn (2007)

# Grand Interféromètre à 2 Télescopes ( GI2T)

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



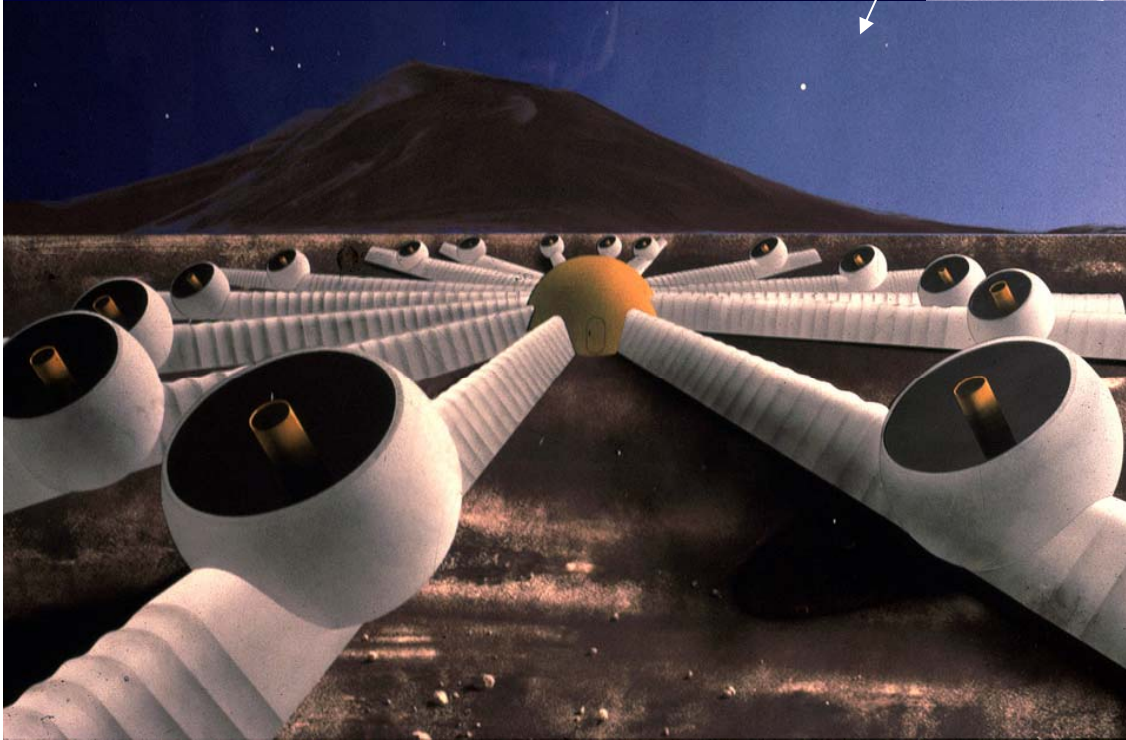
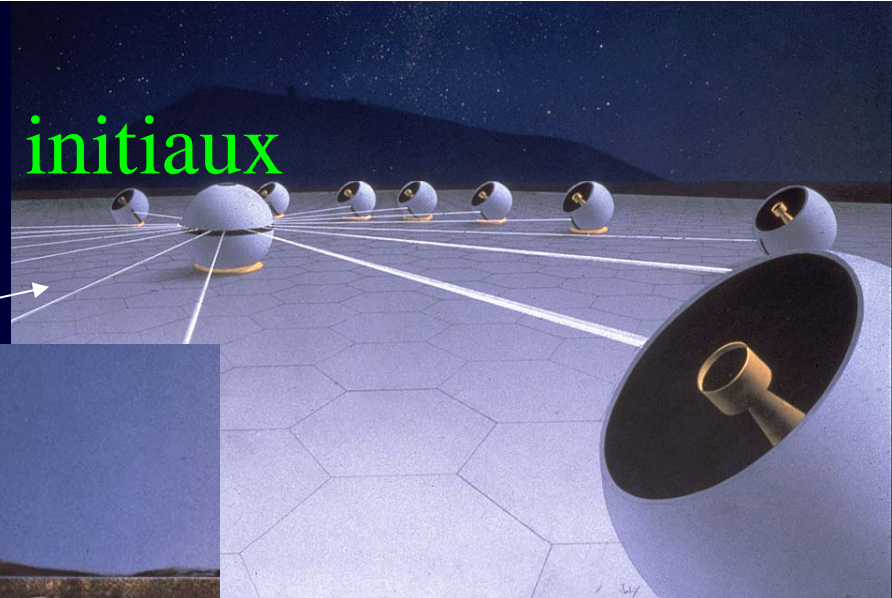
gamma Cass ( Mourard et al. , Nature, 1989)



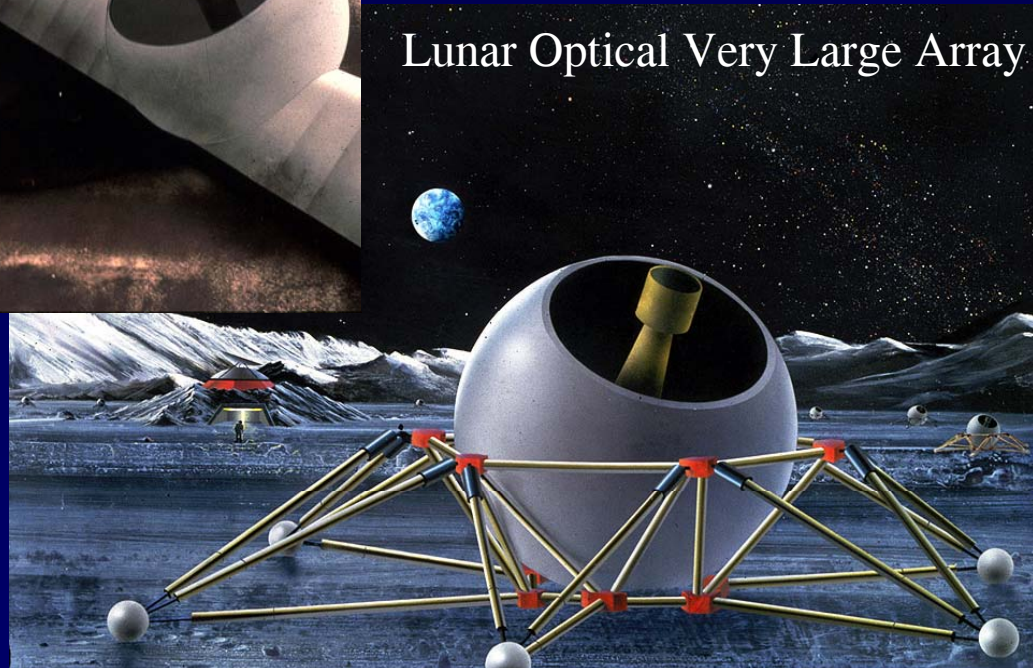
Interféromètres:

# Concepts initiaux

Optical Very Large Array



Lunar Optical Very Large Array



# ... 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 ?



Ce que nous voulons faire :

une nouvelle génération de télescopes...

... les hypertélescopes







Vallée de Barrosa , Pyrénées aragonaises ( photo A.Rondi)

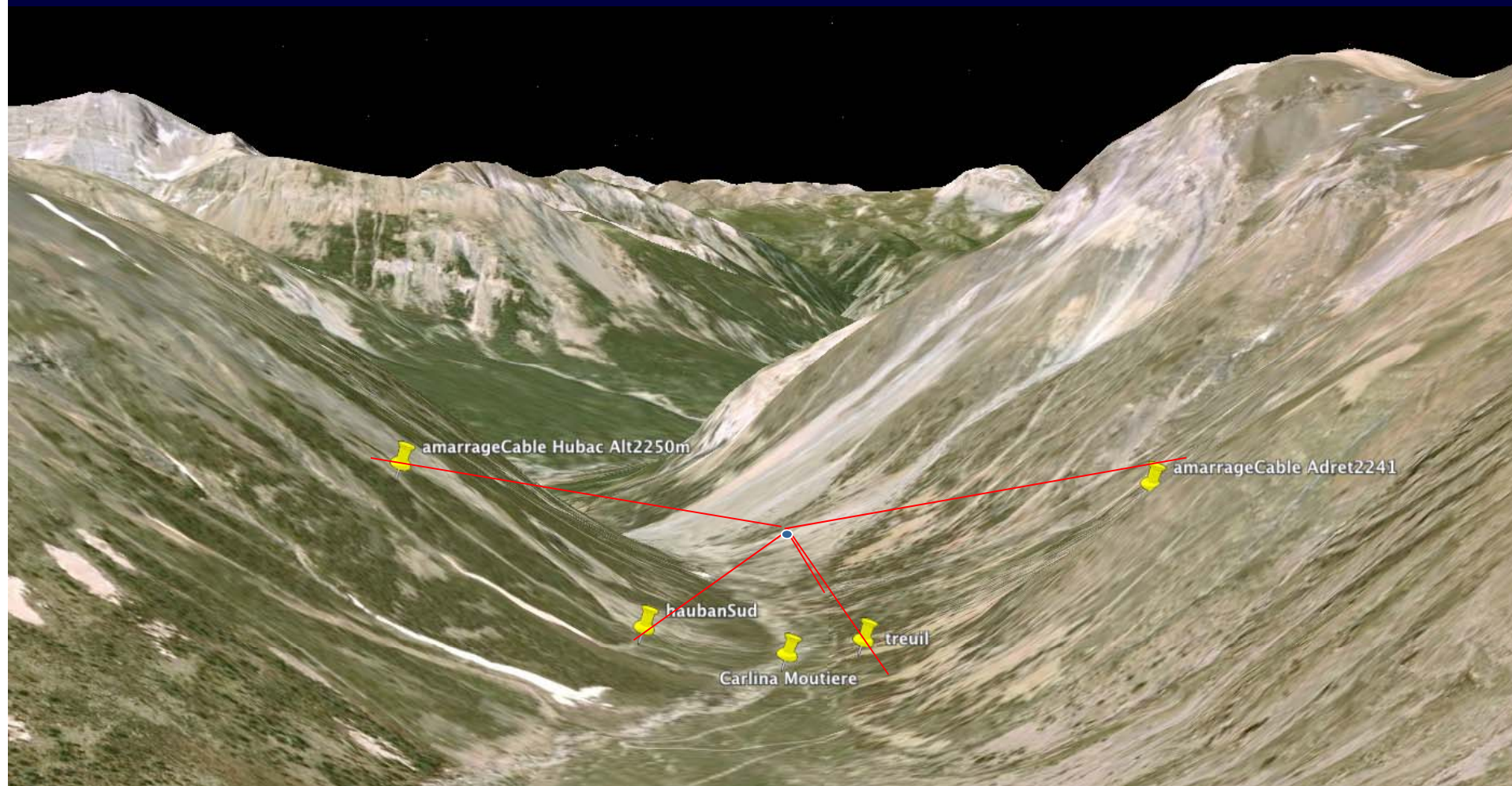


# Essais avec câble à Barrosa (Aout 2009)





# Essais entamés en Ubaye





# Paturage à bouquetins et chamois





# Hubac vu de l'adret

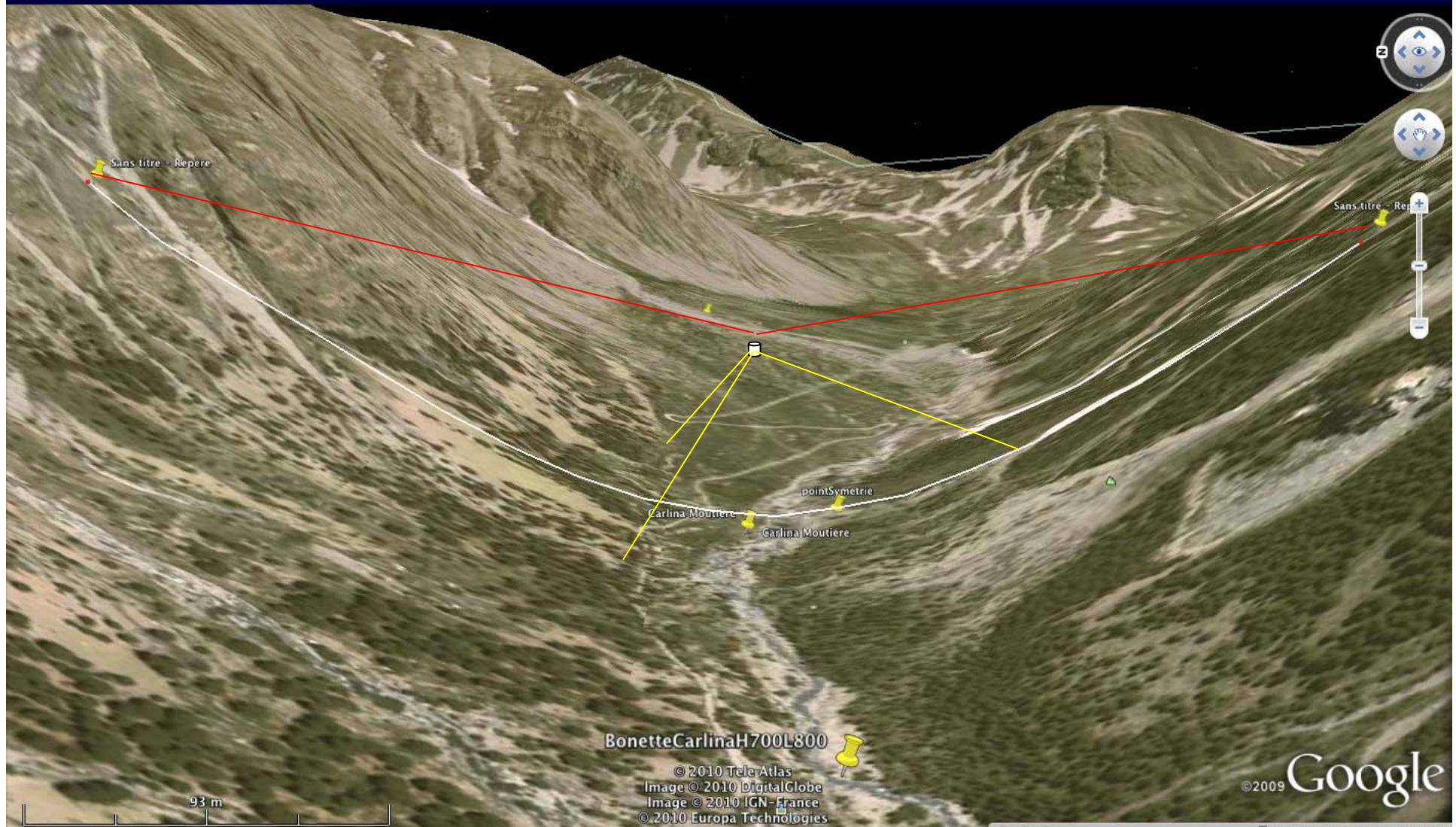






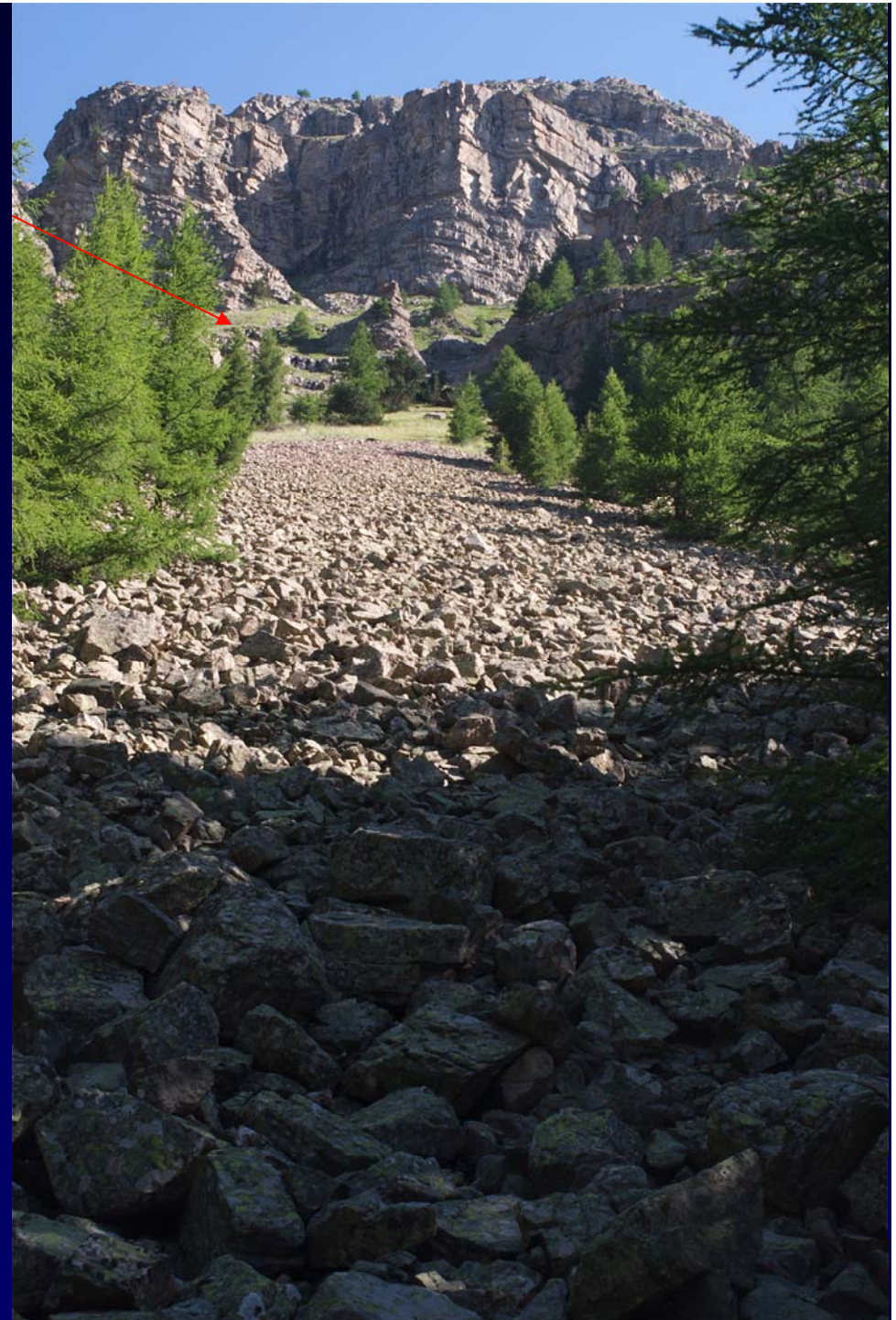


# Site des essais entamés dans l'Ubaye





Amarrage du câble porteur  
dans l'adret





# Hubac





câble

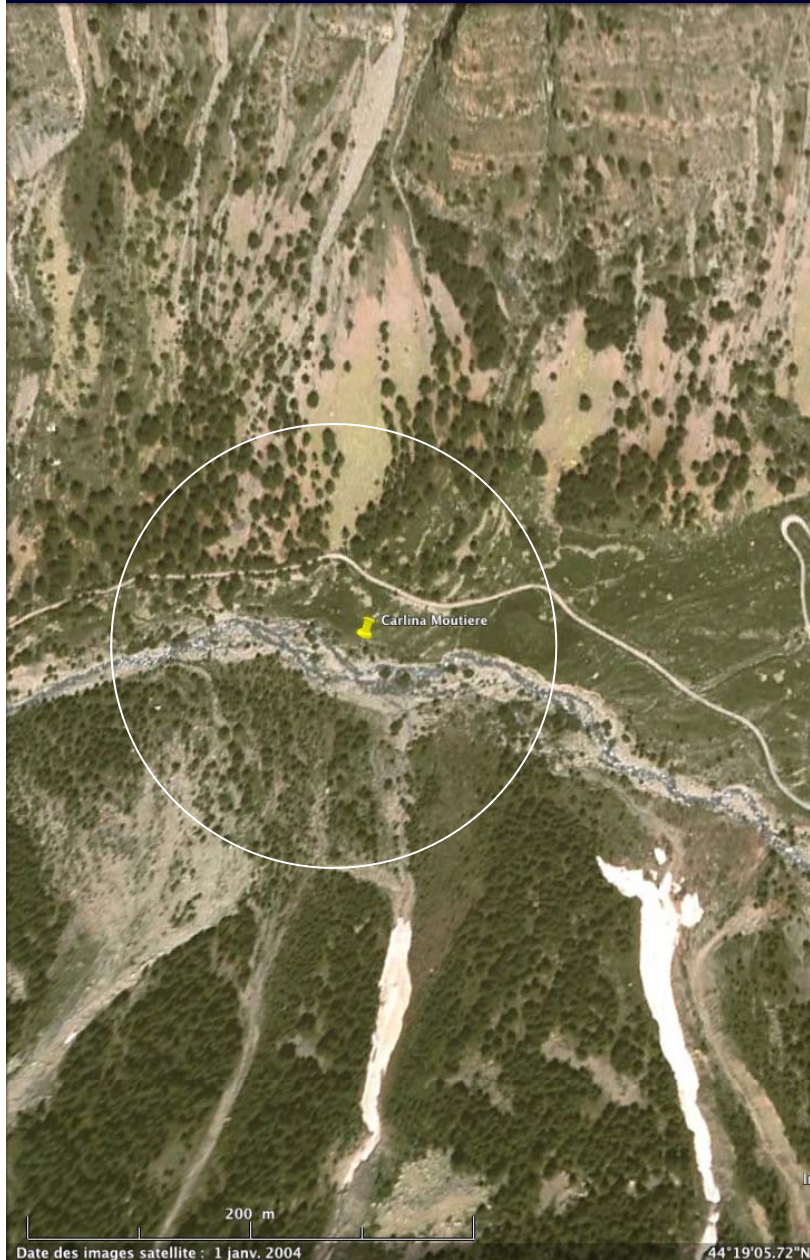




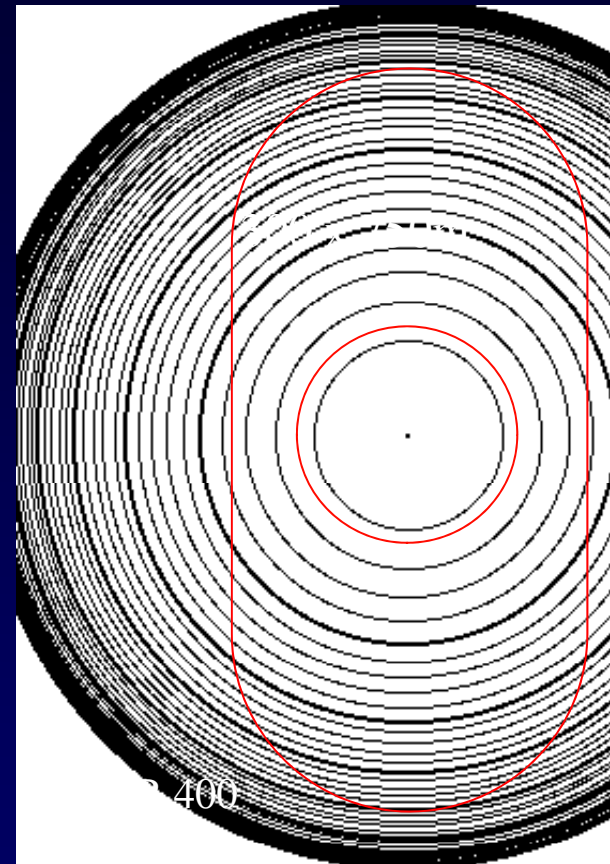
# Vallon de la Moutière, Ubaye

## Implantation d'une ouverture de 200m

Conclusions



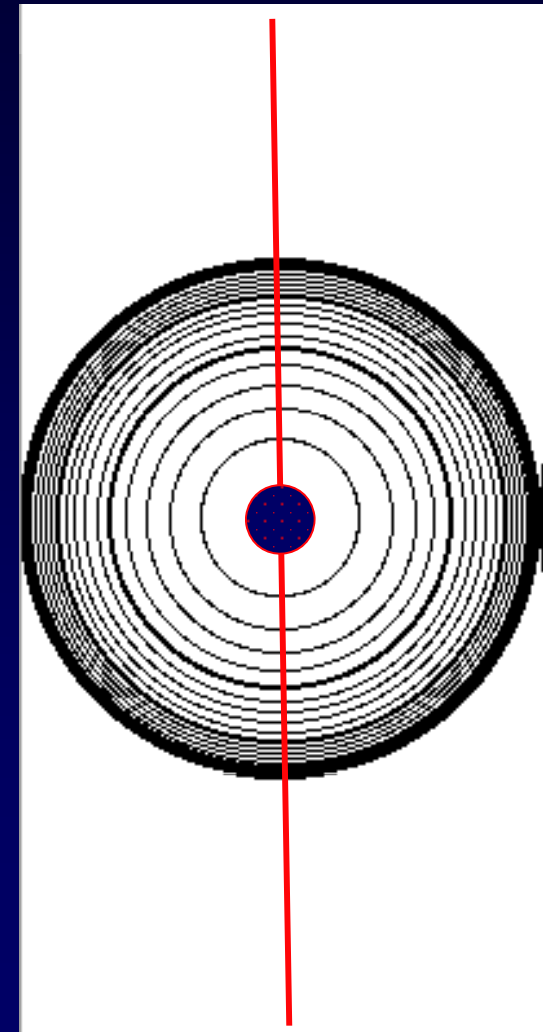
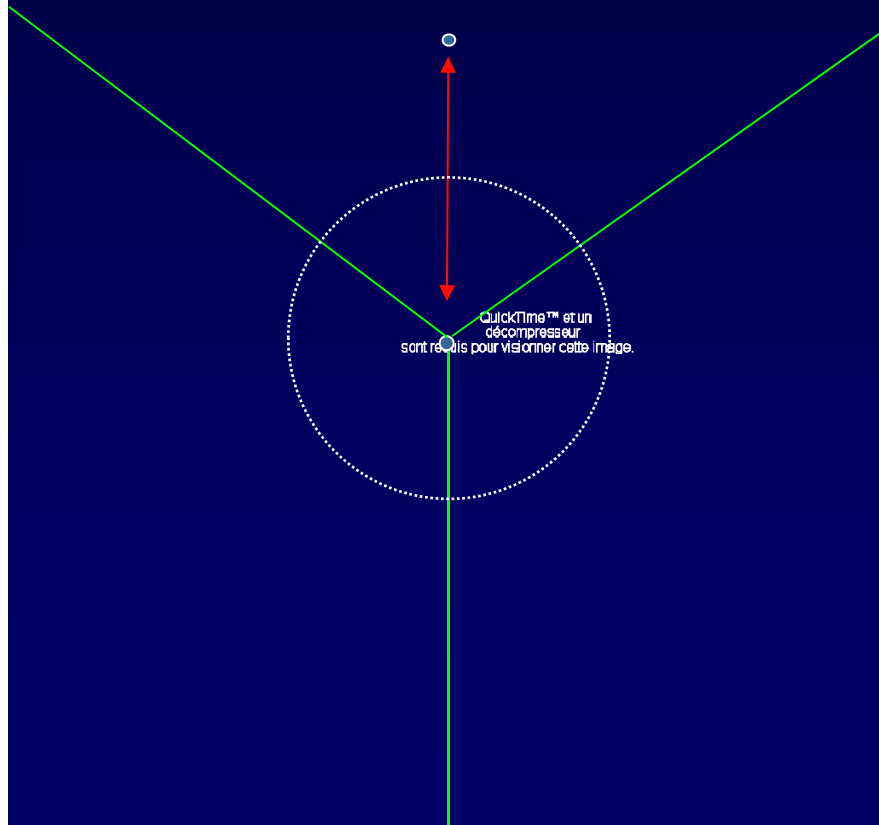
R 360  
valanches  
Click here to view the image in a larger window.  
Click here to view the image in a smaller window.  
Click here to view the image in a new window.  
Click here to view the image in a new window.



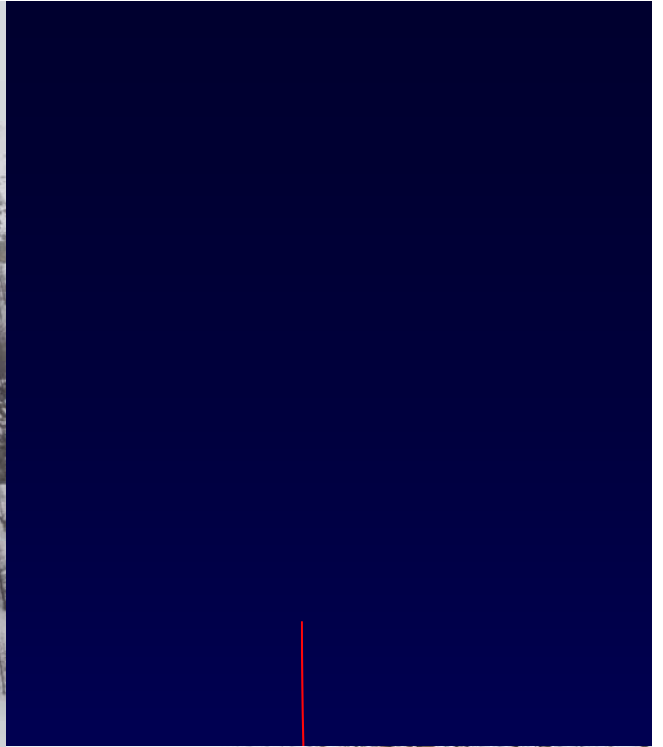


# Vallon de la Moutière, Ubaye

Implantation d'une ouverture  
initiale de 57m

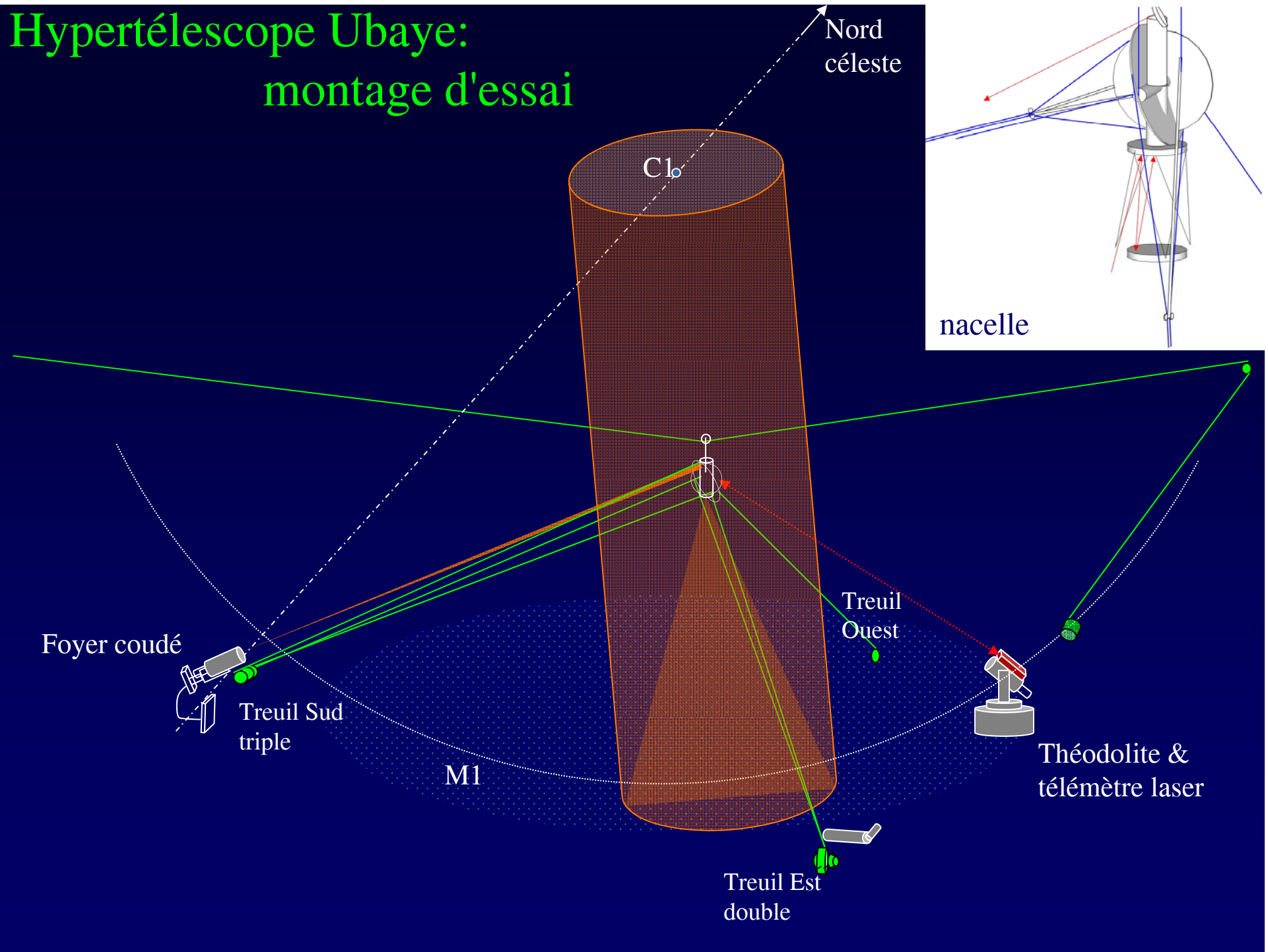


Lignes de niveau : 10m





# Hypertélescope Ubaye: montage d'essai



# Tripode support de miroir

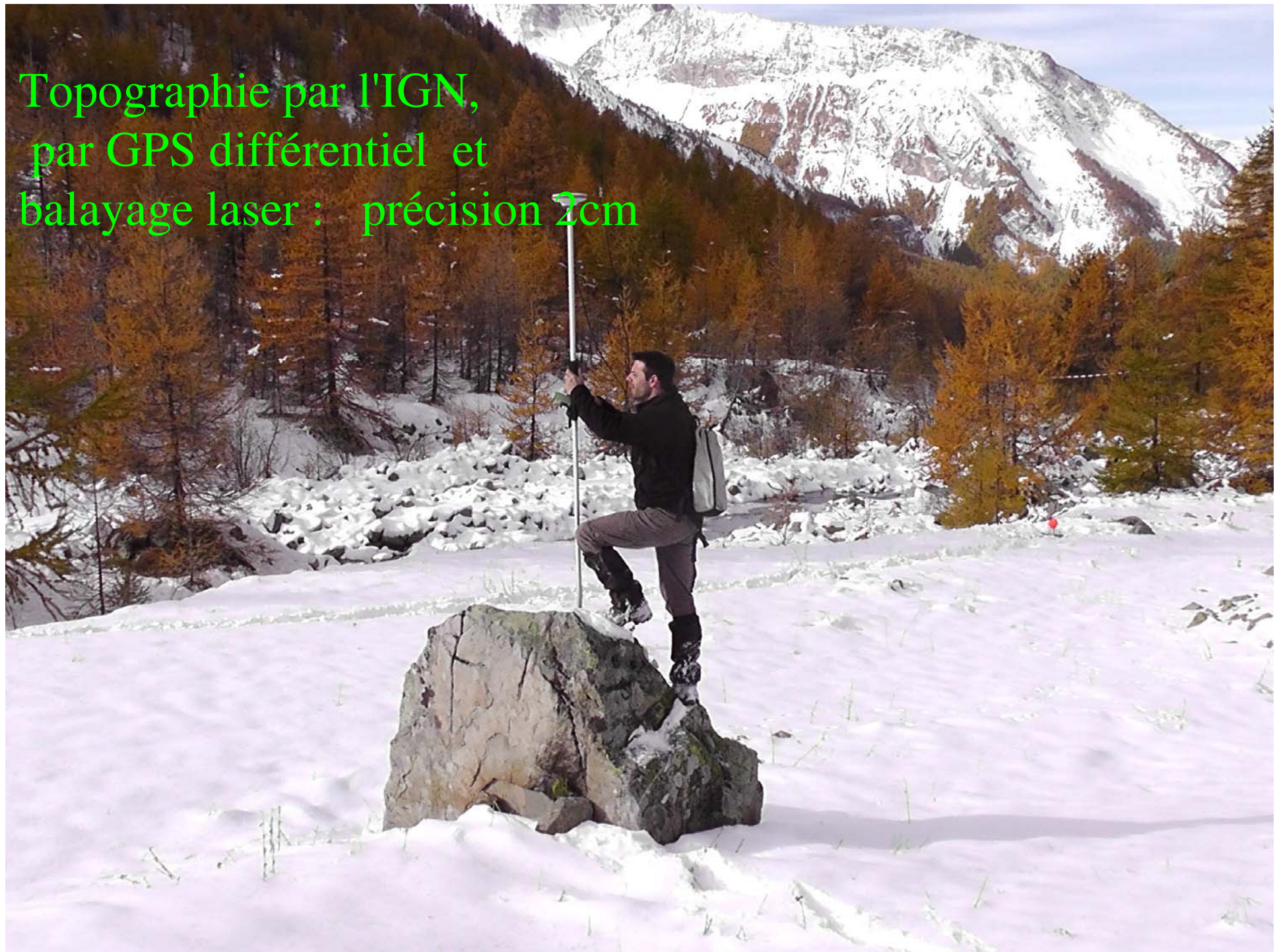
(prototype pour essais)

- ancrage par pieux
- stabilité voulue: quelques microns
- réglage fin : hauteur 5 microns, inclinaison 5"





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

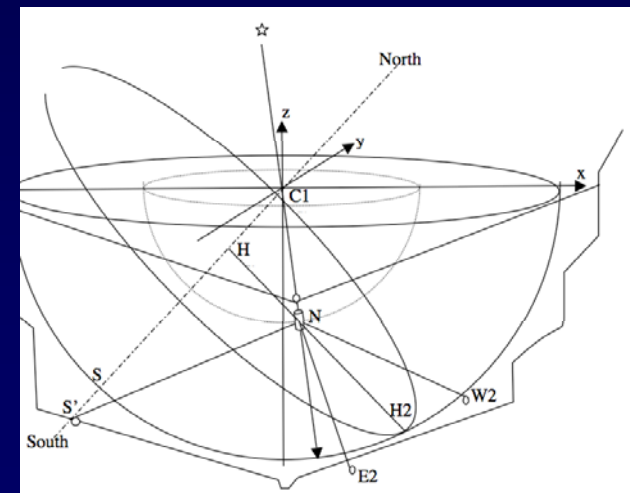
Vue du Sud

Vue de l'Est



Vue du zenith

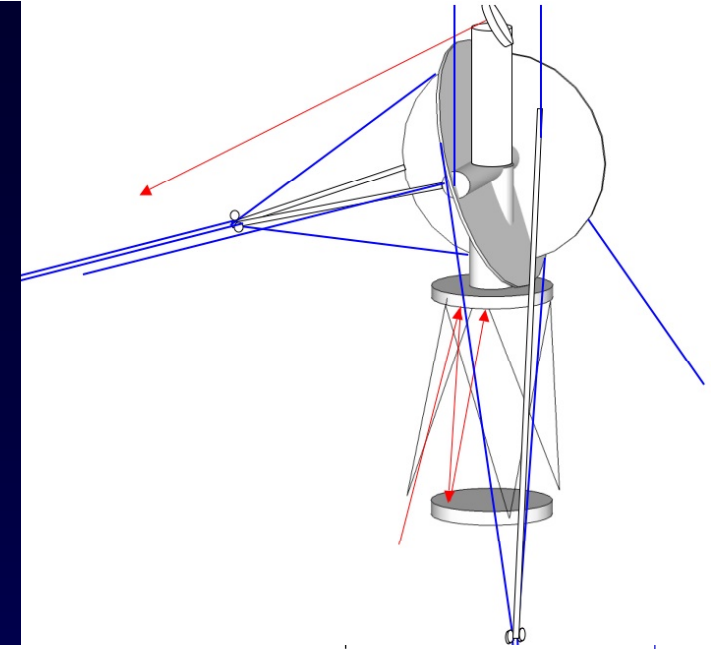
QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette image.





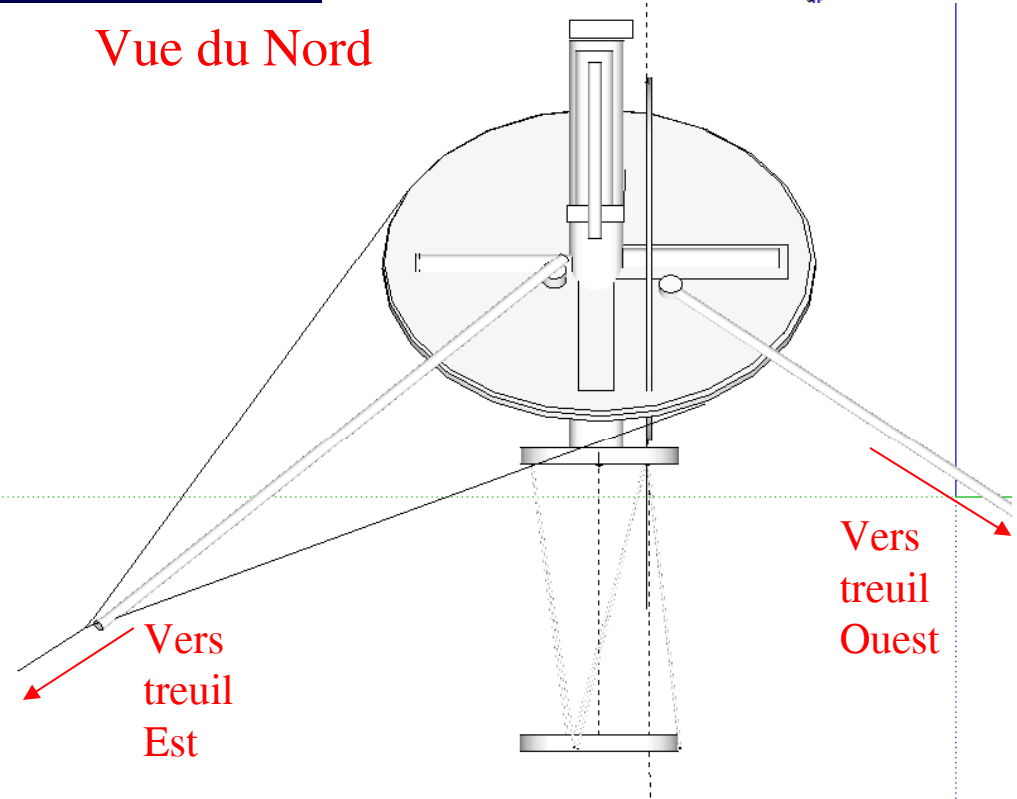
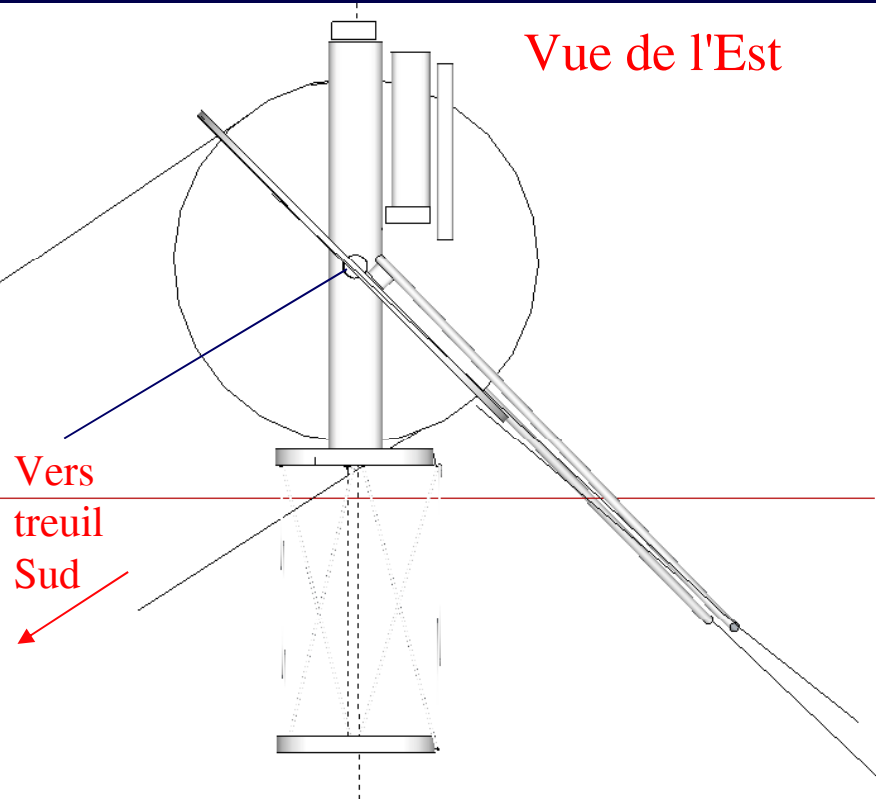
# Nacelle "marionnette à 6 fils"

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

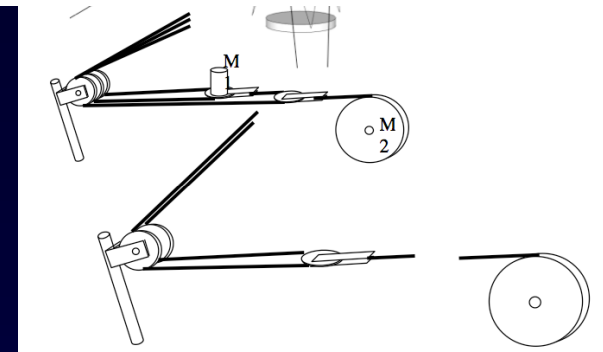


Vue de l'Est

Vue du Nord



# Nacelle: 6 treuils pilotent la position et l'orientation



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

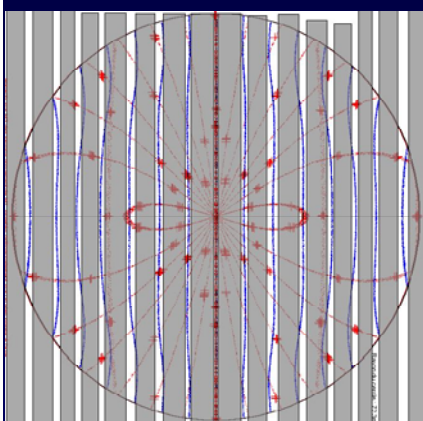
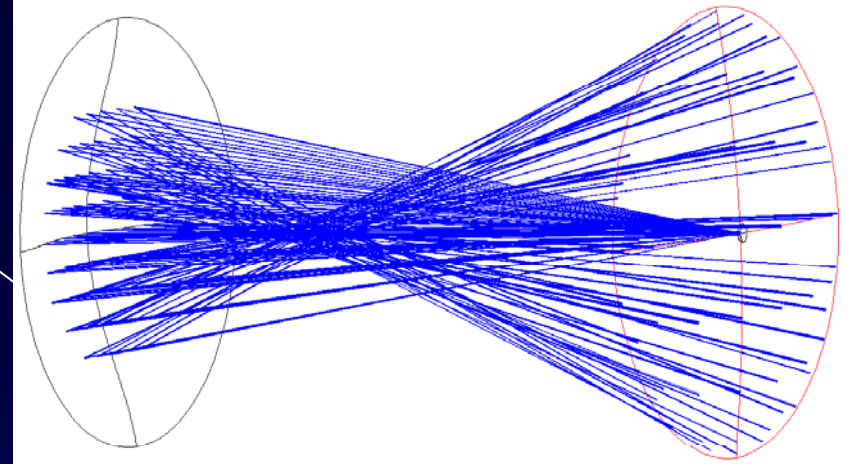
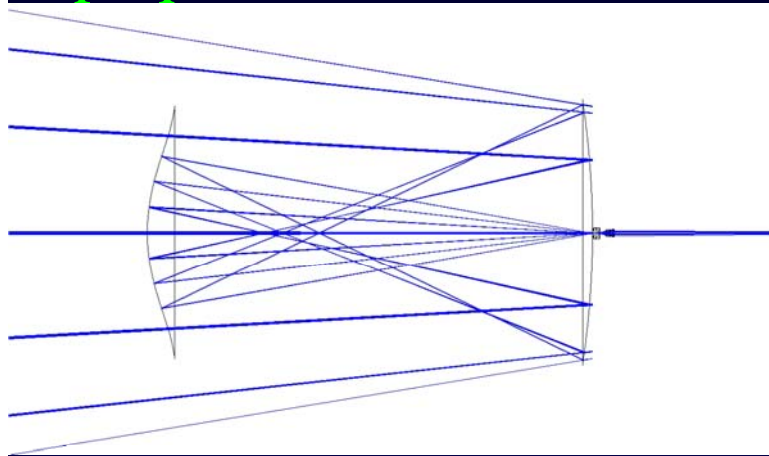
QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette image.



# Nacelle: Etude du pilotage

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

# Optique focale dans la nacelle: correcteur à deux miroirs



Découpes de M3  
diminuant  
l'obstruction





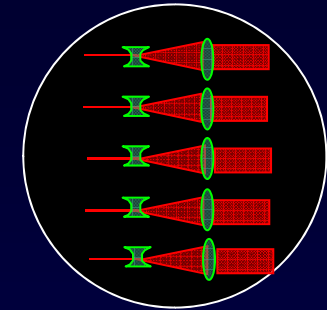
Optique focale:

# Découpeur de champ et densifieur multiple

5x5 champs de 1"

Image Fizeau  
10mm /"

densifieurs



Viseurs d'alignement

Miroir de renvoi coudé

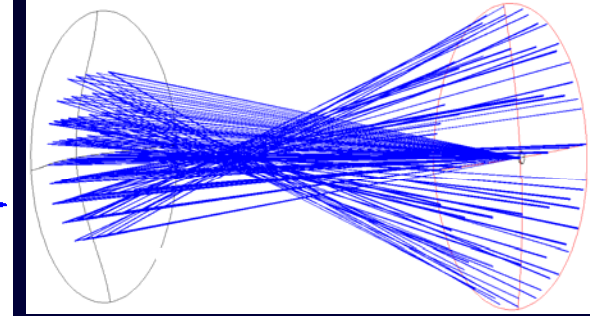
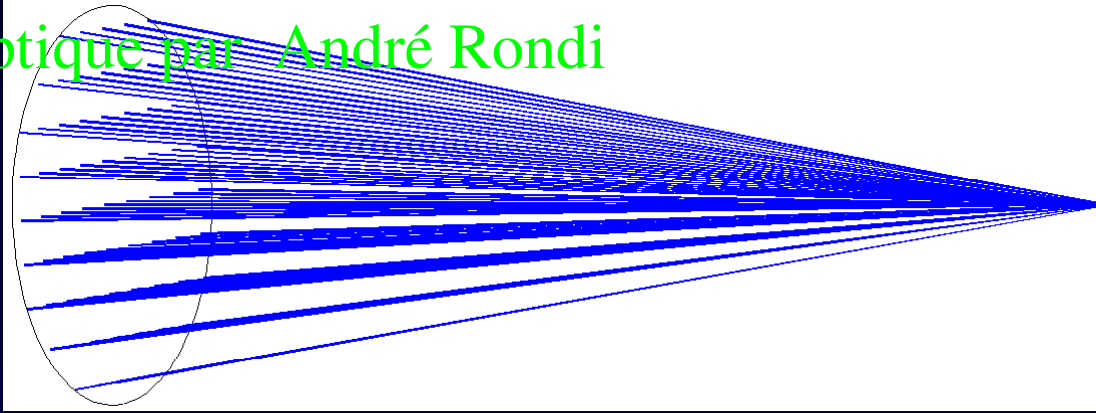
M3

M2



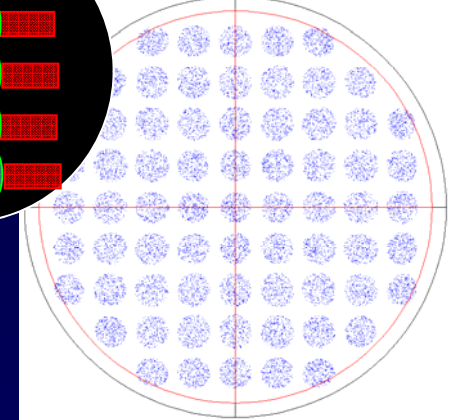
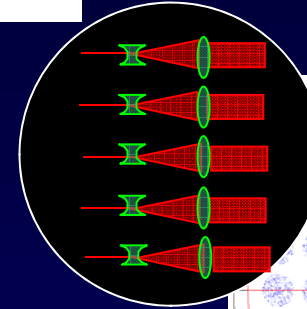
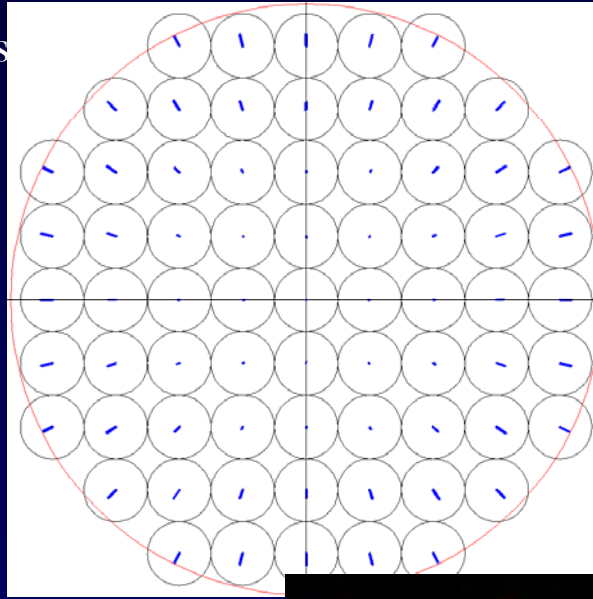
Matrice de M3,  
taillée au tour  
diamant ( Savimex )

# 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

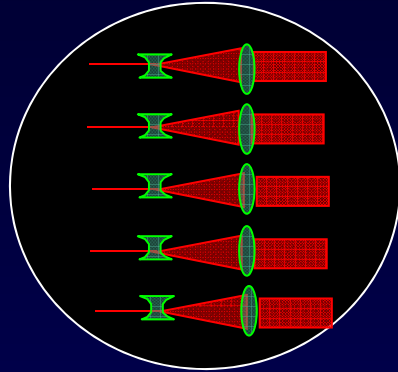
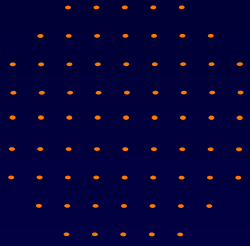
Binaire 1m"

Binaire 2m"



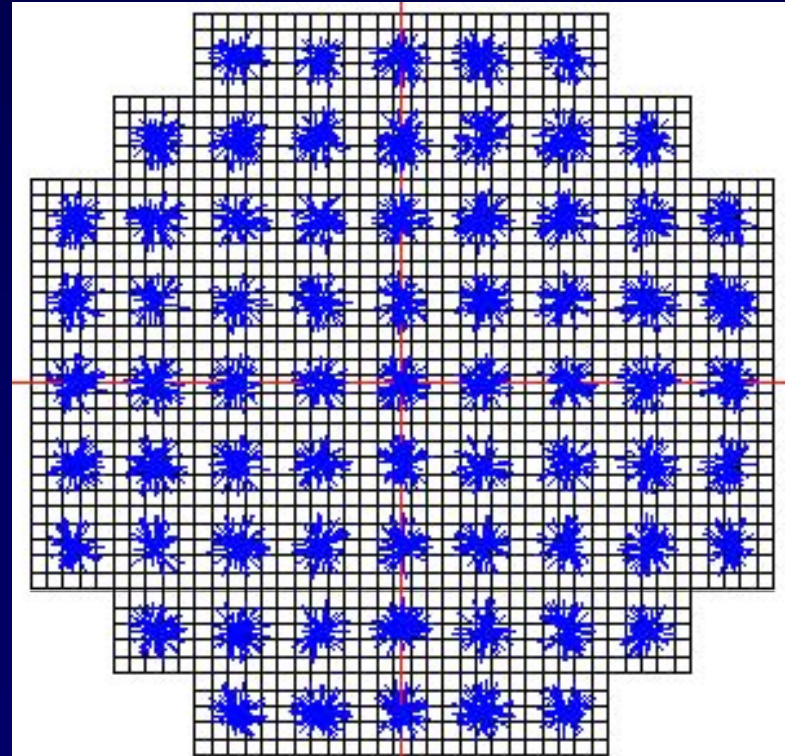
Etude optique

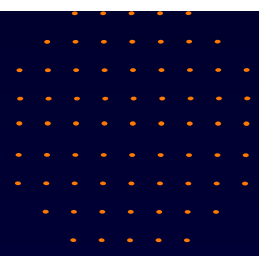
# Densifieur de pupille



Rayons dans l'un des densifieurs

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





# 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.

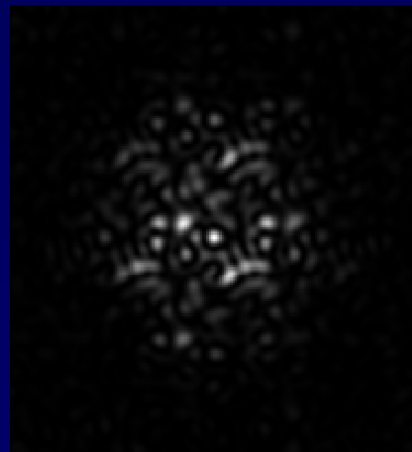
densification x19



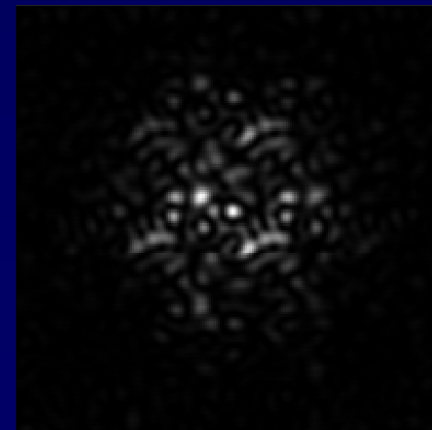
Etoile hors-axe 0,4"

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

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

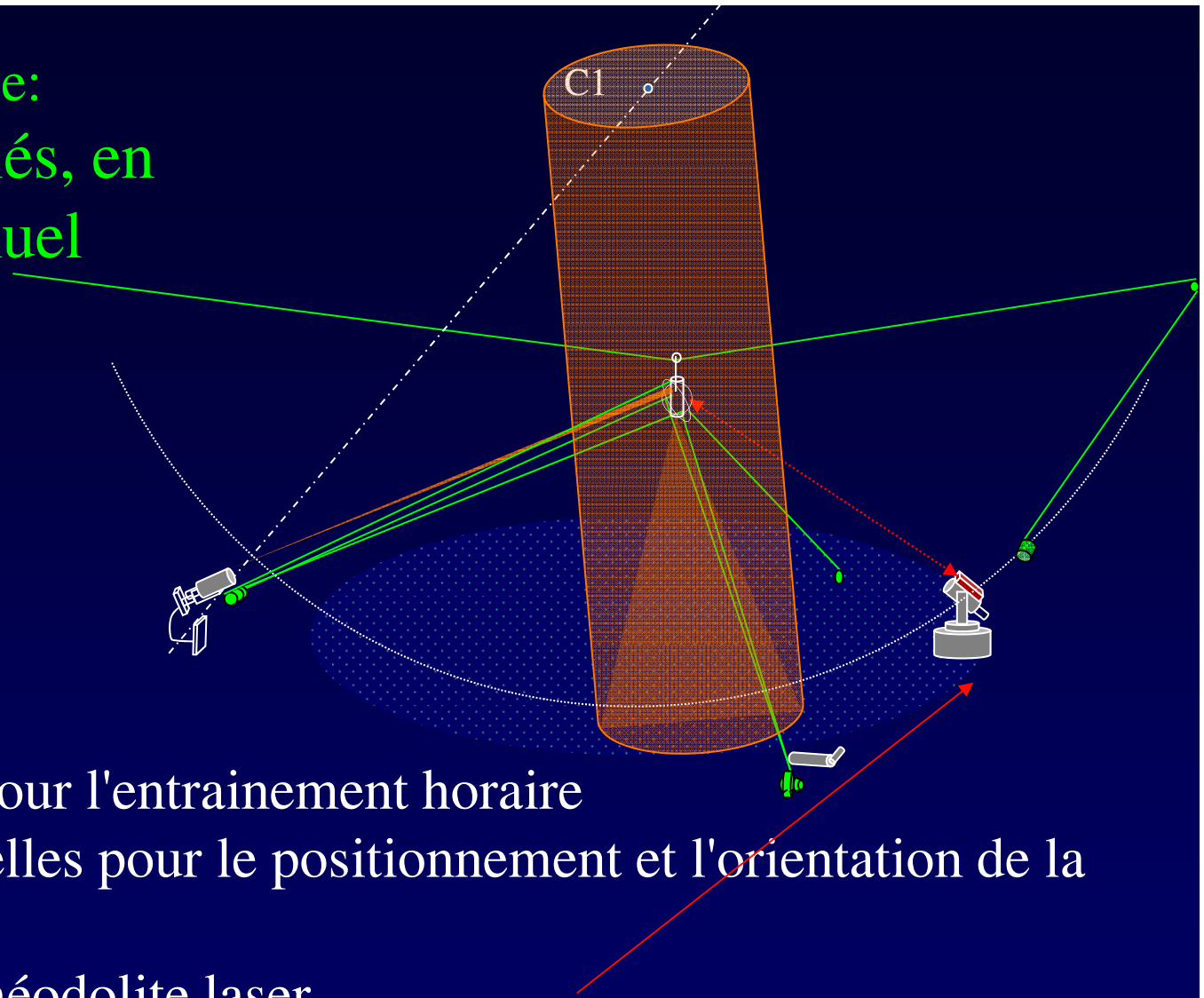


QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.





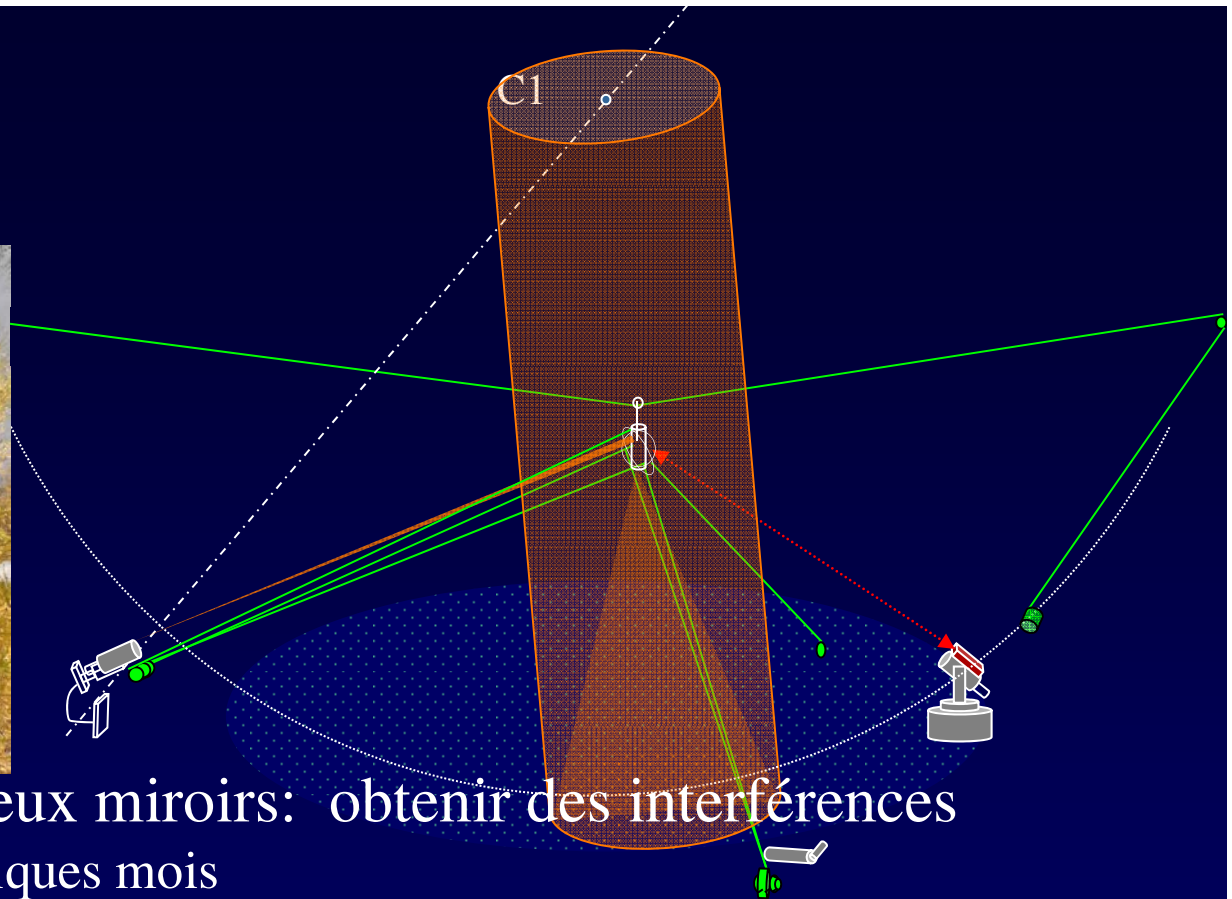
## Hypertélescope Ubye: essais simplifiés, en pilotage semi-manuel



- un seul moteur, pour l'entraînement horaire
- corrections manuelles pour le positionnement et l'orientation de la nacelle
- surveillance par théodolite laser
- pas d'électronique dans la nacelle
- en 1974, I2T avait ainsi gagné de vitesse l'interféromètre du M.I.T.



# Hypertélescope Ubaye: Perspectives



- premiers essais avec deux miroirs: obtenir des interférences
- demandera sans doute quelques mois
- 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



# Himalaya ( site repéré sur Google Earth par Rijuparna Chakraborty)

