



INCA

Identification Nuit / Jour de cible aérienne

Journées JRIOA / Nantes / Novembre 2008

Contrat DGA

Bruno Fleury

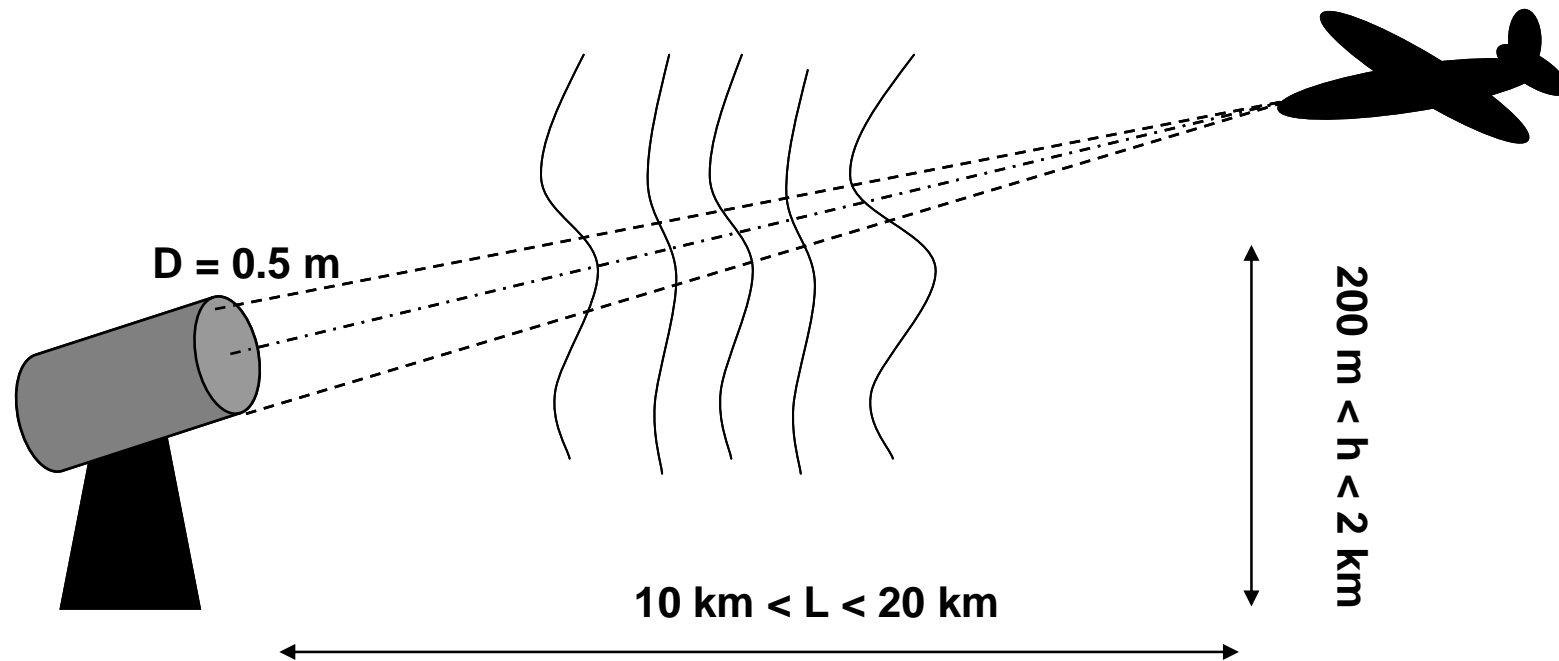
DOTA / unité HRA

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

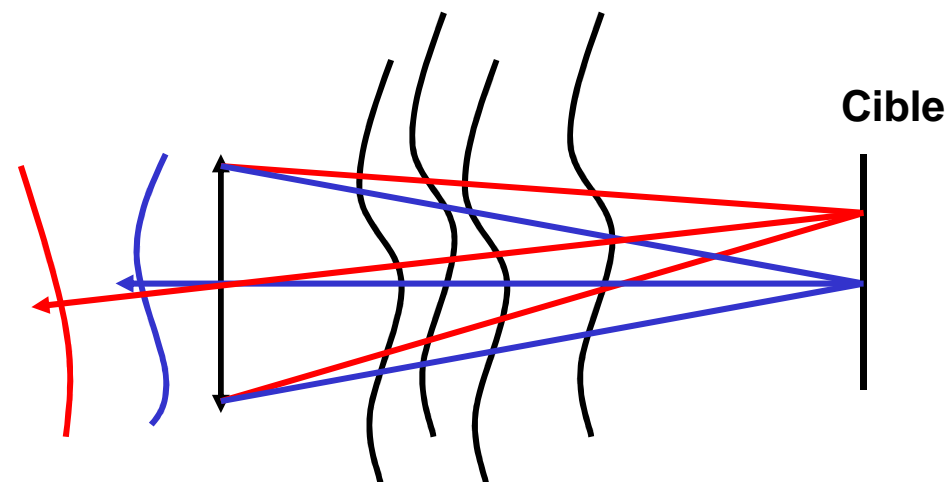
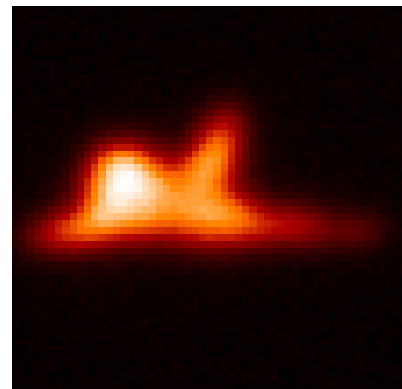
- Imagerie IR en bande II ($\sim 4\mu\text{m}$) : jour/nuit
- résolution visée $\sim 10\mu\text{rad}$ (10 cm à 10 km)
- à comparer à la résolution angulaire des meilleurs systèmes existant : $50\mu\text{rad}$



Plan de l'exposé

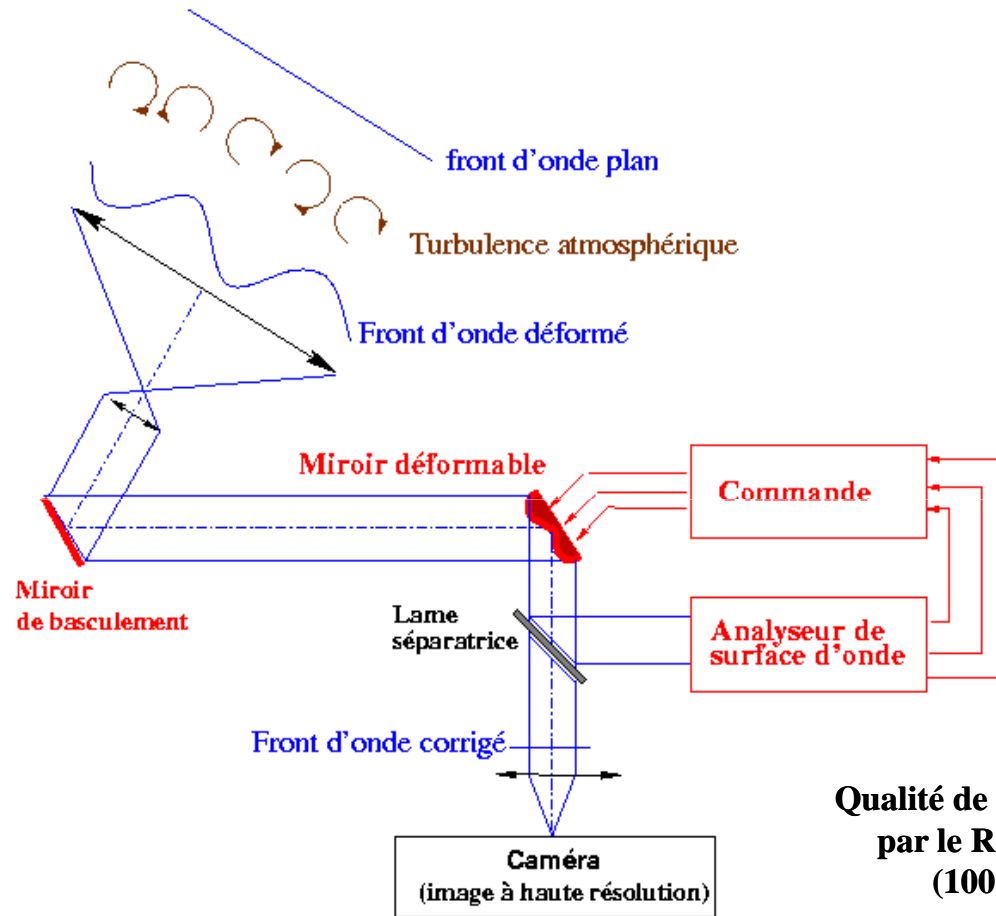
- Domaine d'emploi & performances attendues
- Expérience INCA
- Conclusions et Perspectives

- Forte turbulence proche du sol
 - Limitation en résolution pour D de quelques 10cm même dans IR moyen
 - ⇒ paramètre clef D/r_0
 - Résolution donnée par λ/r_0 >50cm pour portée ~10 km
- Turbulence éloignée
 - scintillation
amplitude de l'onde affectée
 - anisoplanétisme
décorrélation angulaire de l'onde [phase et amplitude]



Principe de l'Optique Adaptative

Étude système



DOTA - Journée PEA Optroniques 20 déc. 2007

L'Optique Adaptative permet d'obtenir une résolution angulaire à la limite de diffraction

- **Choix des cas d'intérêt :**

- Force de turbulence modérée :
turbulence limitative et OA à complexité raisonnable
 $2 < D/ro < 5$ à 10
- Effet d'anisoplanétisme compatible avec OA classique
ligne de visée pas trop proche de l'horizontal
- Bilan de liaison permettant un bon RSB pour l'analyse de front d'onde

- **Paramètres environnementaux**

- Conditions de turbulence : au sol, profil en altitude
- Transmission atmosphérique : visibilité, aérosols, climats
- Éclairage solaire : angle versus ligne de visée

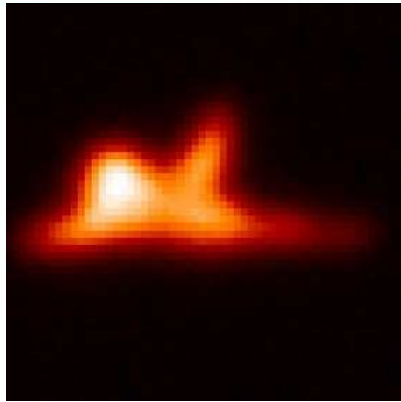
- **2 scénarios prometteurs :**

- Sol-air : portée 10 à 20 km , cible en altitude : 1500 à 2000 m
visibilité@ $0,5\mu\text{m}$ > 1 km
- Mer-air : portée 15 à 20 km , cible en altitude : 200 à 300 m
visibilité@ $0,5\mu\text{m}$ > 10 km
anisoplanétisme assez sévère

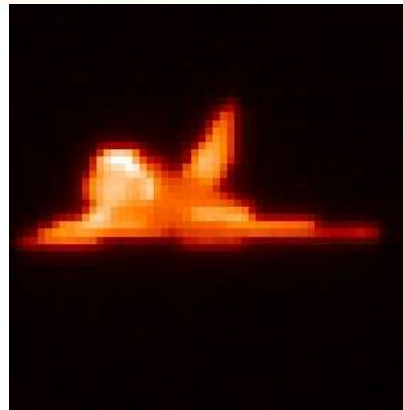
Dimensionnement et performances Inca

sol-air : $L = 20 \text{ km}$, $h = 2000\text{m}$, $\lambda = 4 \mu\text{m}$, télescope 0.5 m

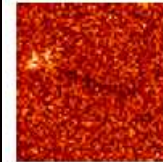
Étude système



sans correction -- SR = 3%



corrigé par OA -- SR = 28%



Imagette ASO
Contraste ~10%



diffraction -- SR = 100%

Visibilité@0,5 μm = 5 km

Turbulence moyenne ($C_n^2@10\text{m} = 10^{-13} \text{ m}^{-2/3}$) soit : $D/r_0 = 5$

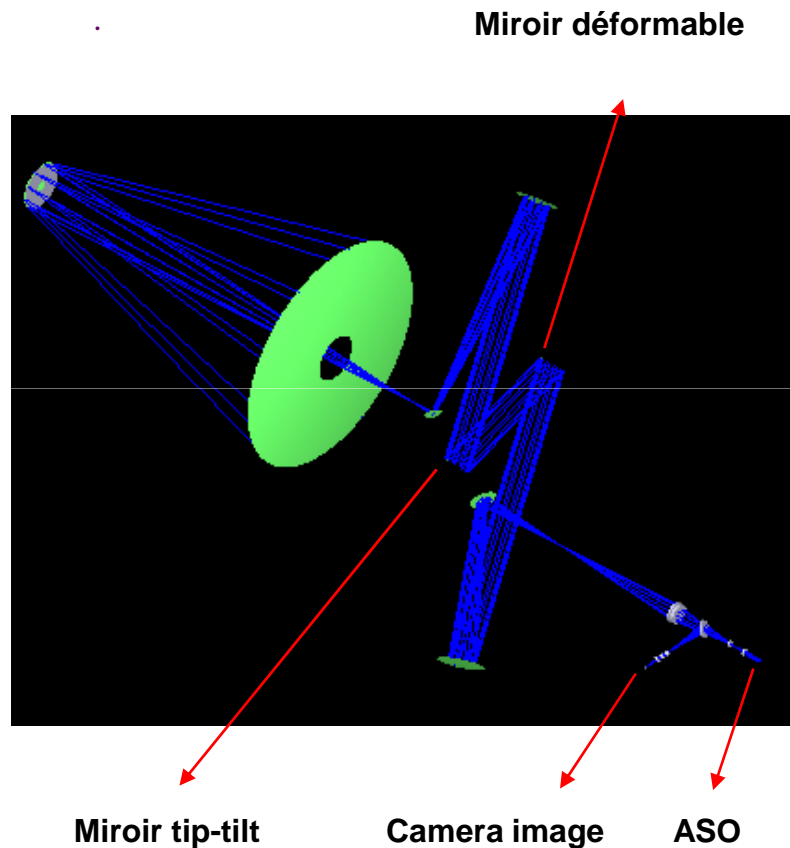
Shack-Hartmann : 5x5 sous-pupilles

Miroir déformable : ~36 actionneurs

Echantillonnage temporel : 500 Hz

**Optique Adaptative : gain significatif en résolution
donc en domaine d'emploi pour systèmes d'identification**

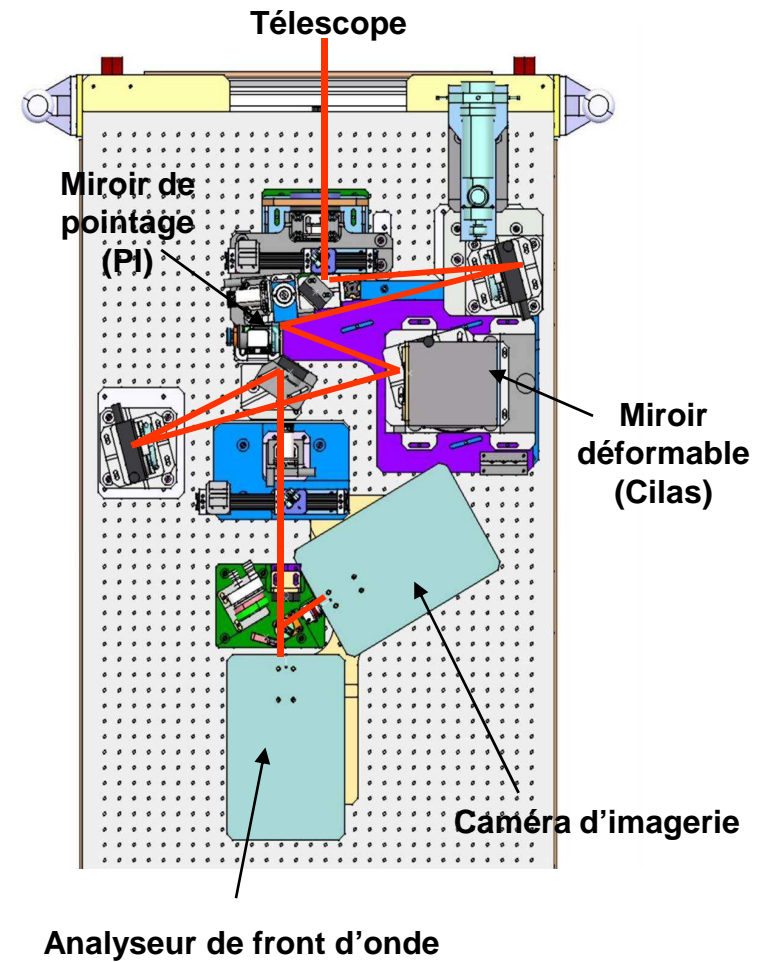
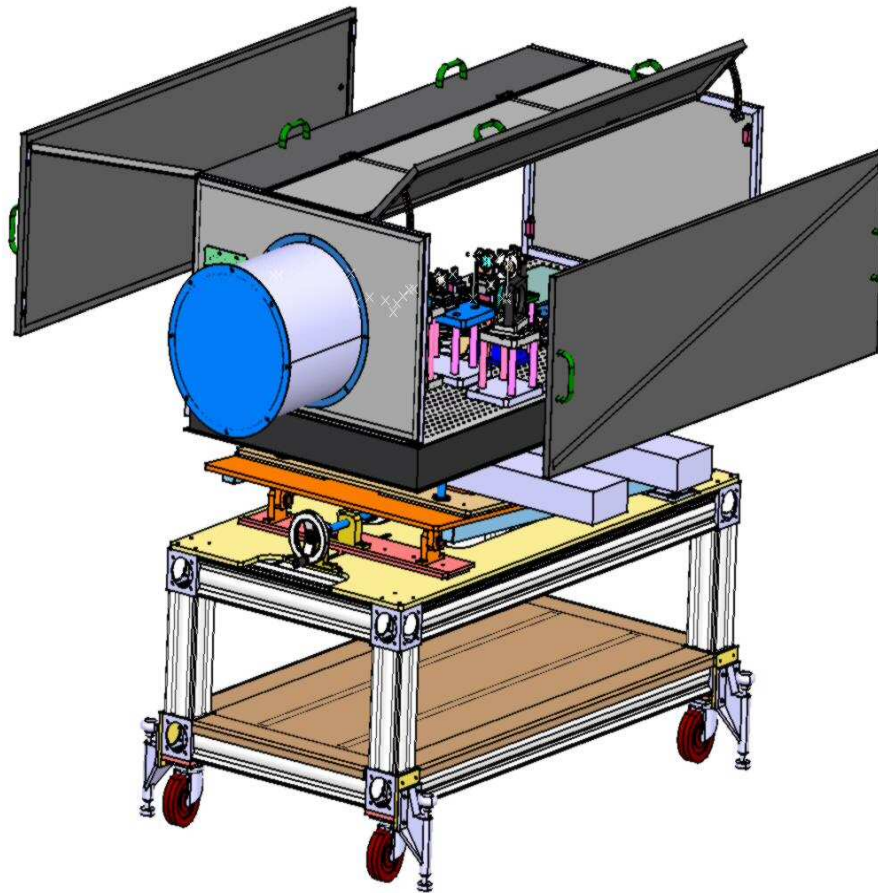
- Validation expérimentale du concept
 - cible : mire thermique fixe en altitude sur fond de ciel
 - banc OA au sol à 11 km
- 4 étapes :
 - Définition expérience : 2004 / 6 mois
 - Réalisation expérience : 2005-2007 / 27 mois
 - Essais : 2007-2008 / 18 mois
 - Mise au point laboratoire : Septembre 07 ⇒ Mai 2008
 - Essais terrain : Juin 2008 (15 jours) et Octobre 2008 (15 jours)
 - Compléments dépouillements : 2009 / 12 mois



- **Télescope de 35 cm**
- **Composants actifs**
 - Miroir déformable **Cilas** 6x6 actionneurs
 - Miroir tip-tilt **PI**
- **Analyseur de front d'onde IR (~ 4 μm)**
 - Champ 13m @ 11 km
 - 5x5 micro-lentilles
- **Caméra image IR grand champ (~ 4 μm)**
 - Champ 20m
 - Cryostat & Détecteur IR **Sofradir** :
 - HgCdTe 256x320 pixels 200e- bruit
- **Calculateur temps réel**
 - PC-Linux développé par **Shaktiware**
 - Calcul de pente par corrélation
 - Loi de commande : integrateur

Banc d'optique adaptative INCA

Expérience Inca

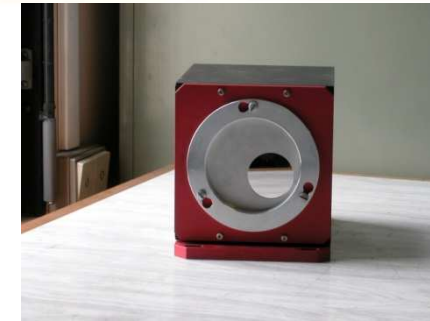


Intégration du banc INCA en laboratoire

Expérience Inca



Télescope



Miroir déformable CILAS



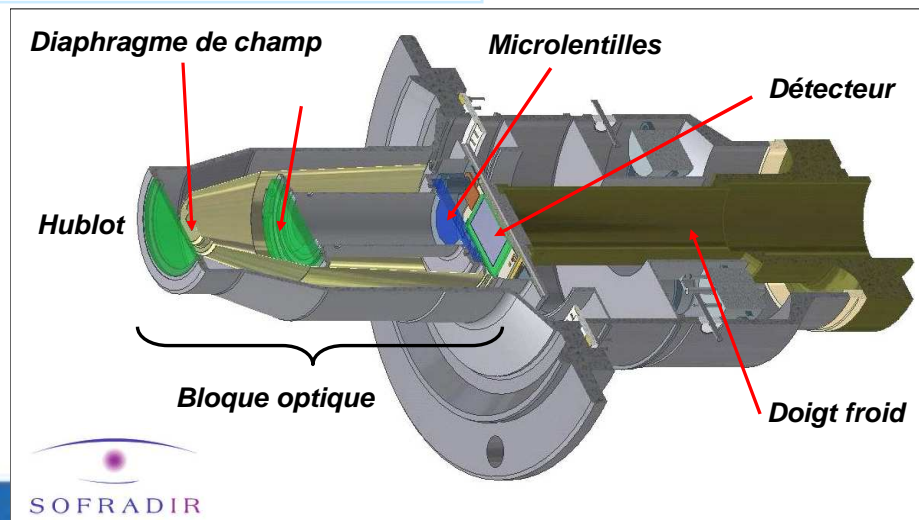
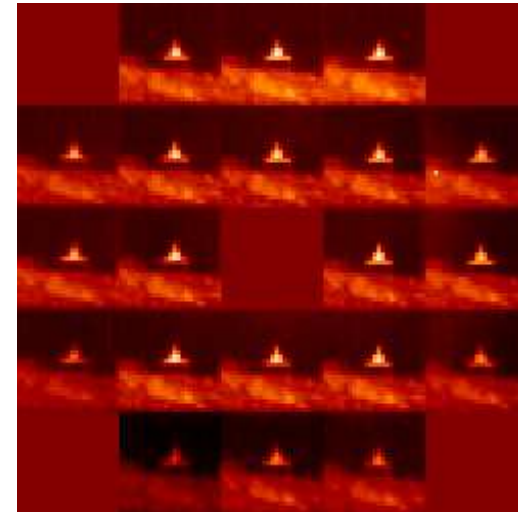
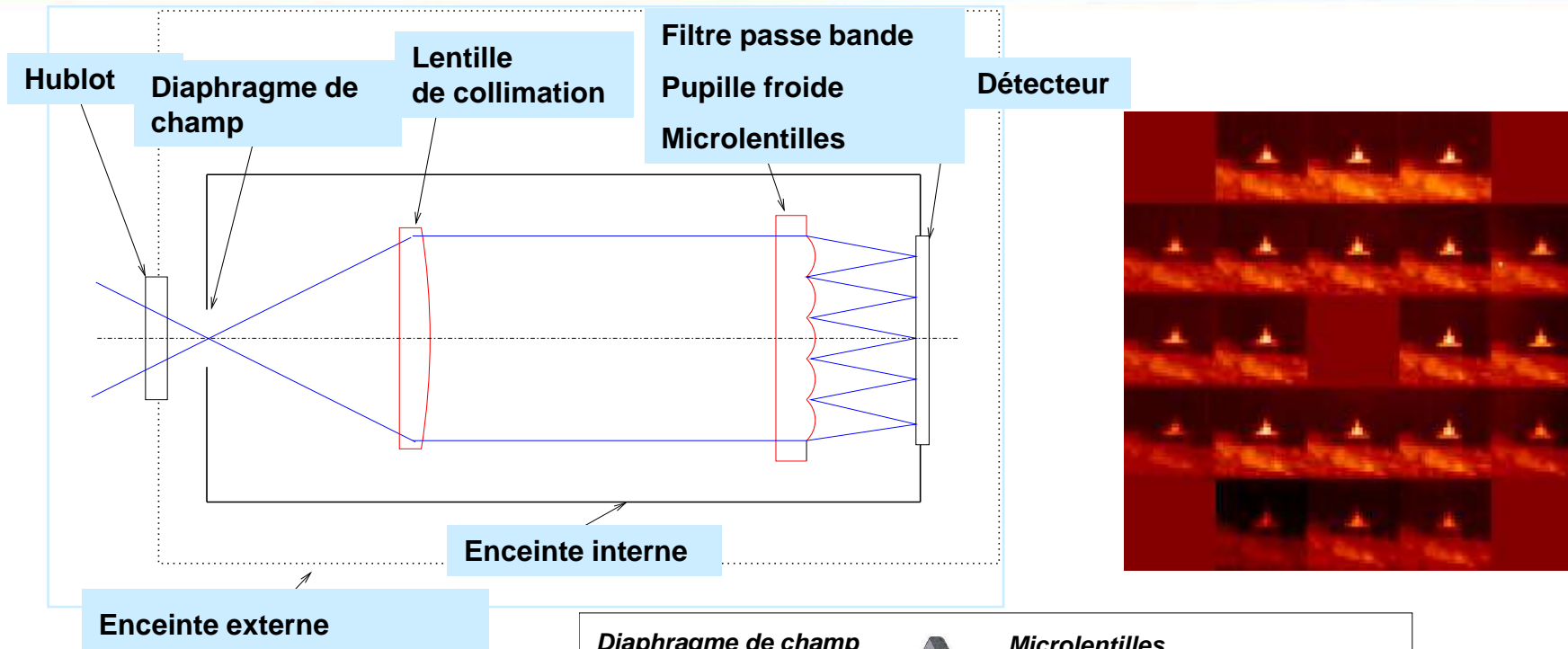
**Caméra ASO
SOFRADIR**



**Caméra Imagerie
SOFRADIR**

Caractéristiques de l'analyseur Shack-Hartmann IR

Analyseur IR



Spécification de l'analyseur Shack-Hartmann IR

Analyseur IR

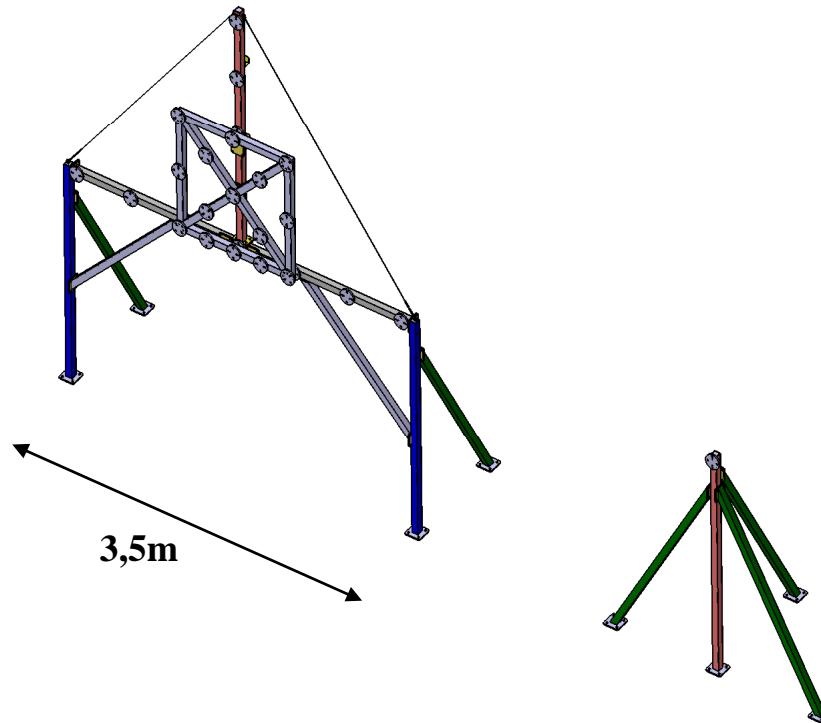
Bande passante spectrale	3.4- 4.2 μm
Champ de vue	14 m @ 11 km
Echantillonnage	Pixel = $\lambda f/d$ @ 3.7 μm
Focale de microlentilles	6.25 mm @ 100 K
Détecteur HgCdTe @ 90 K	125 x 125 pixels
Taille pixel	30 μm
Capacité du puits	1.4 Me-
Bruit	<300 e-
Conversion analogique numérique	14 bits
Fréquence trame	440 Hz
Refroidisseur Stirling avec support anti-vibration	

Emission : cibles au sommet du Mt Lachens (Verdon, altitude 1715 m)

15 cibles CN **ThermoEst**

- Régulées en température (30 à 110°C)
- Disposées en réseau sur une armature (hauteur 4m)
- Diamètre 100 mm
- Distance 50 cm

Armature : Métallique nickelée (faible émissivité)



Expérience Inca – Essais Terrain

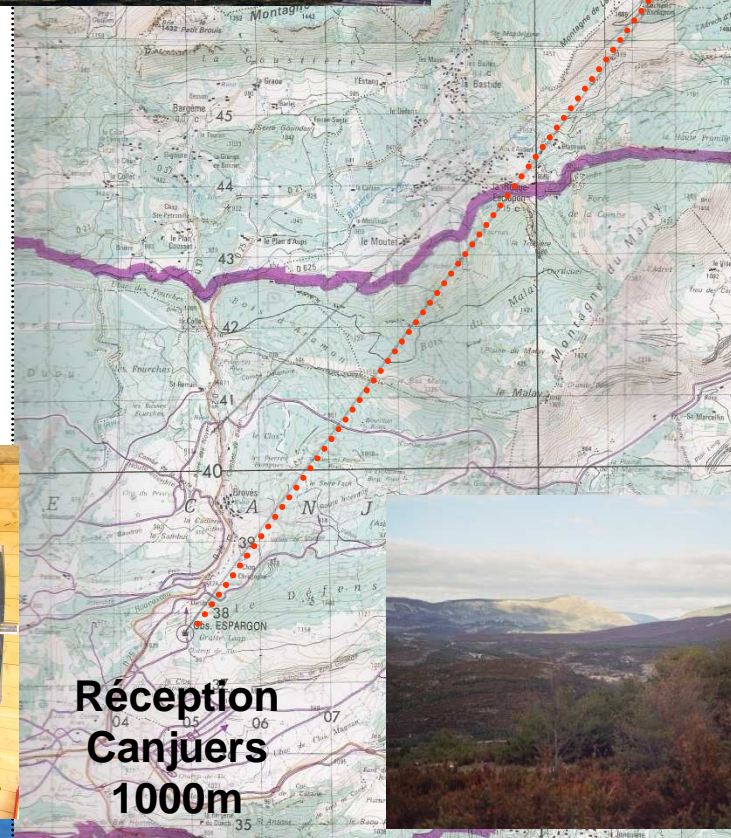
Expérience INCA

→ Distance : 11,5 km

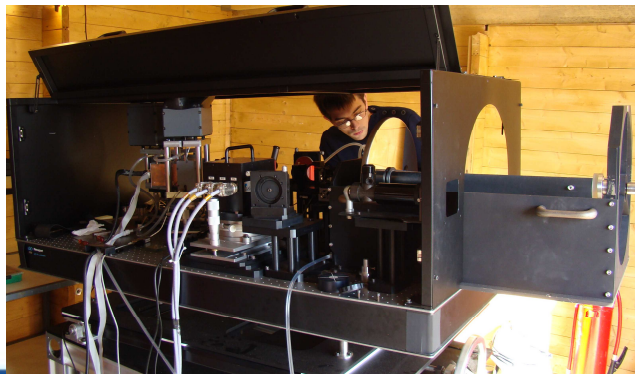
→ Dénivelé : 715 m



Emission
Mont Lachens
1715m



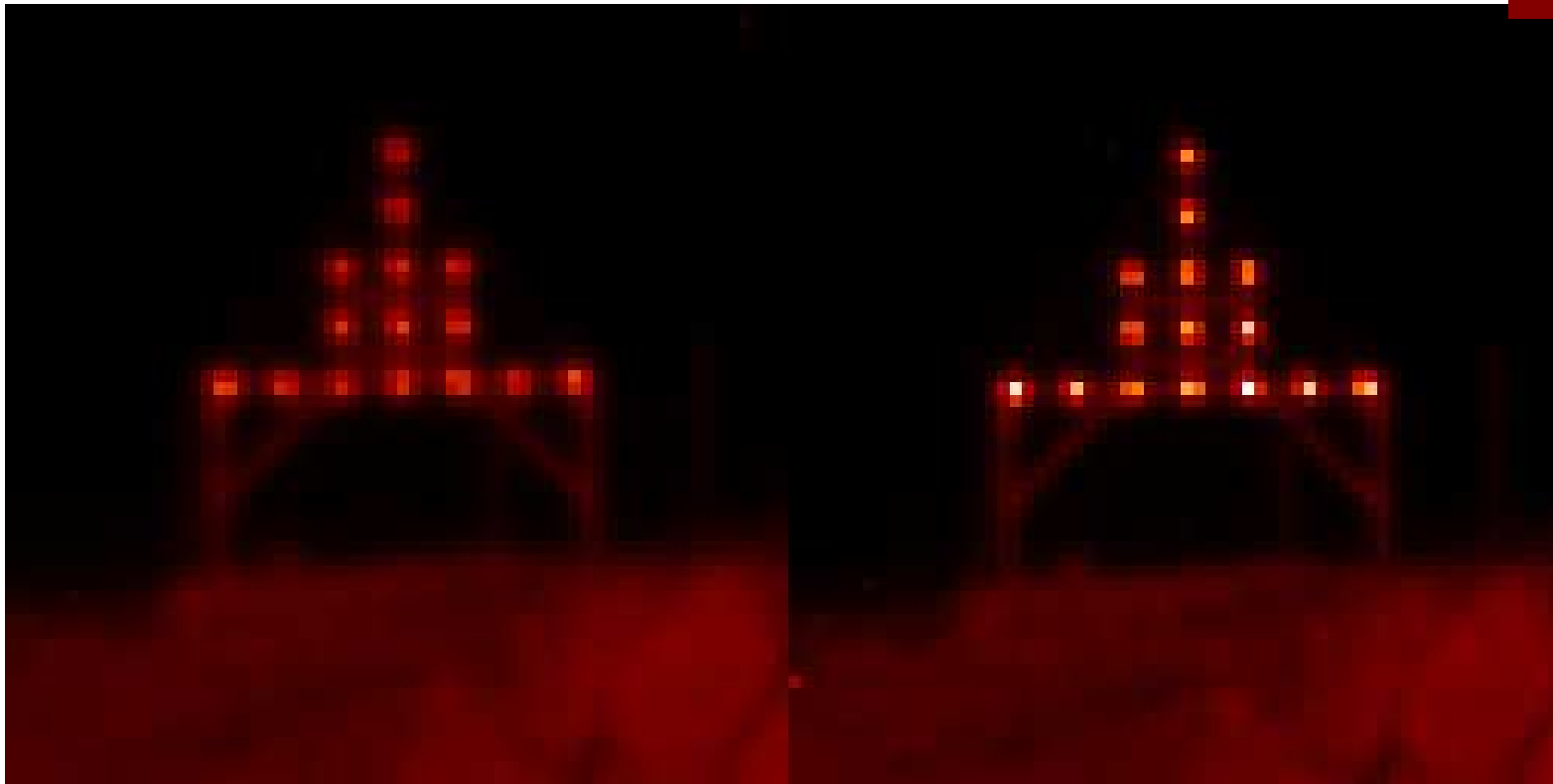
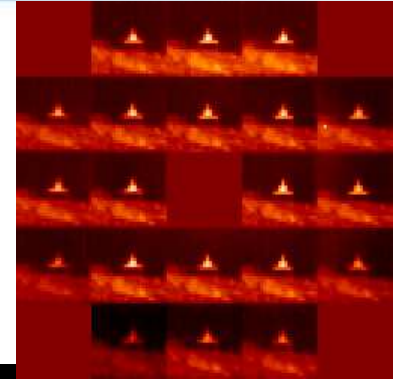
Mont Lachens



Expérience Inca – Asservissement sur Cible thermique

$D/Ro \approx 4,7$ Vent $\approx 4,4$ m/s

Gain en variance de phase $\approx 9,1$

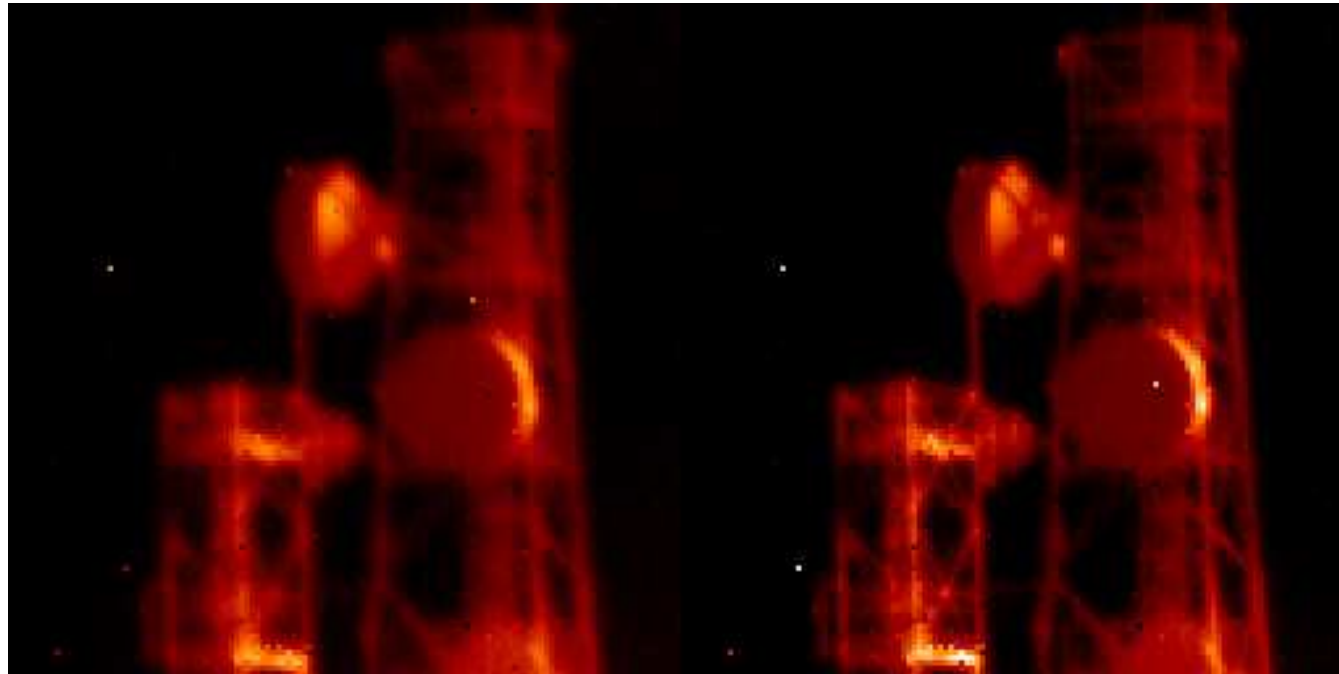


Expérience Inca – Asservissement sur Pylône

$D/R_0 \approx 6,3$

Vent $\approx 2,5$ m/s

Gain en variance de phase ≈ 19



INCA / CONCLUSION

- Fort gain en portée d'identification par l'optique adaptative IR
deux types de scénarios à fort potentiel :
 - Sol-air : portée 10 à 20 km , cible en altitude : 1500 à 2000 m
visibilité@0,5 μ m > 1 km
 - Mer-air : portée 15 à 20 km , cible en altitude : 200 à 300 m
visibilité@0,5 μ m > 10 km

complexité raisonnable quelques dizaines d'actionneurs
- Réalisation d'un banc d'optique adaptative incluant un analyseur de front d'onde cryogénique IR
- Expérience Inca : validation représentative sol-air
deux essais réalisés au printemps / automne 2008
Premiers résultats probants

INCA / Futurs travaux & Perspectives

- **Futurs travaux :**
 - **Dépouillement des données ;**
 - **Comparaison résultats expérience avec simulation.**
- **Perspectives :**
 - **Développement d'un démonstrateur au foyer d'une tourelle de poursuite (avion) :**
 - ⇒ Compacification du banc
(analyse préliminaire dans étude système)
 - ⇒ Coopération industrielle
 - **Extension du domaine d'emploi aux lignes de visée quasi-horizontale**
Etude du concept d'Optique Adaptative Multi-Conjuguée
pour réduire les effets d'anisoplanétisme :
 - ⇒ Validation laboratoire (banc HOMER)
 - ⇒ Intégration de l'Optique Adaptative Multi-Conjuguée sur banc INCA actuel