

# ADAPTIVE OPTICS

Together, we will change the way you see Light

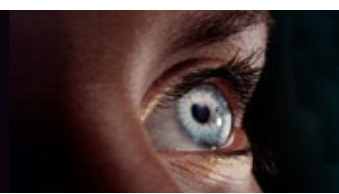
Optiques adaptatives: état de l'art et défis pour  
les télescopes de faibles diamètres

**L. Jocou**

**26 octobre 2009**



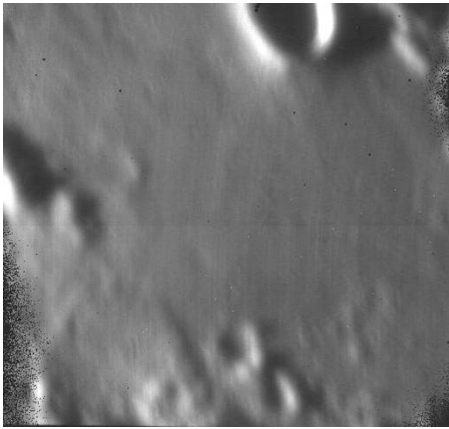
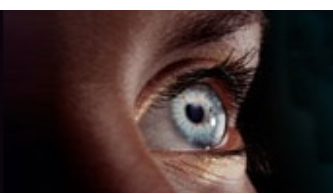
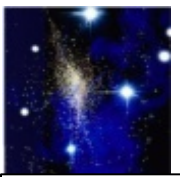
# Plan



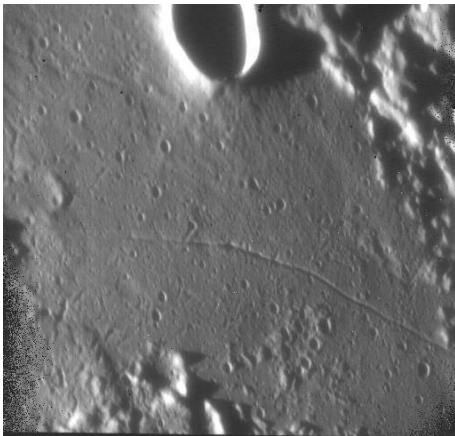
- Principe de l'optique adaptative
- Revue des solutions techniques
- Systèmes existant
- Quel système d'OA pour petits télescopes
- Quelles spécifications
- Conclusion



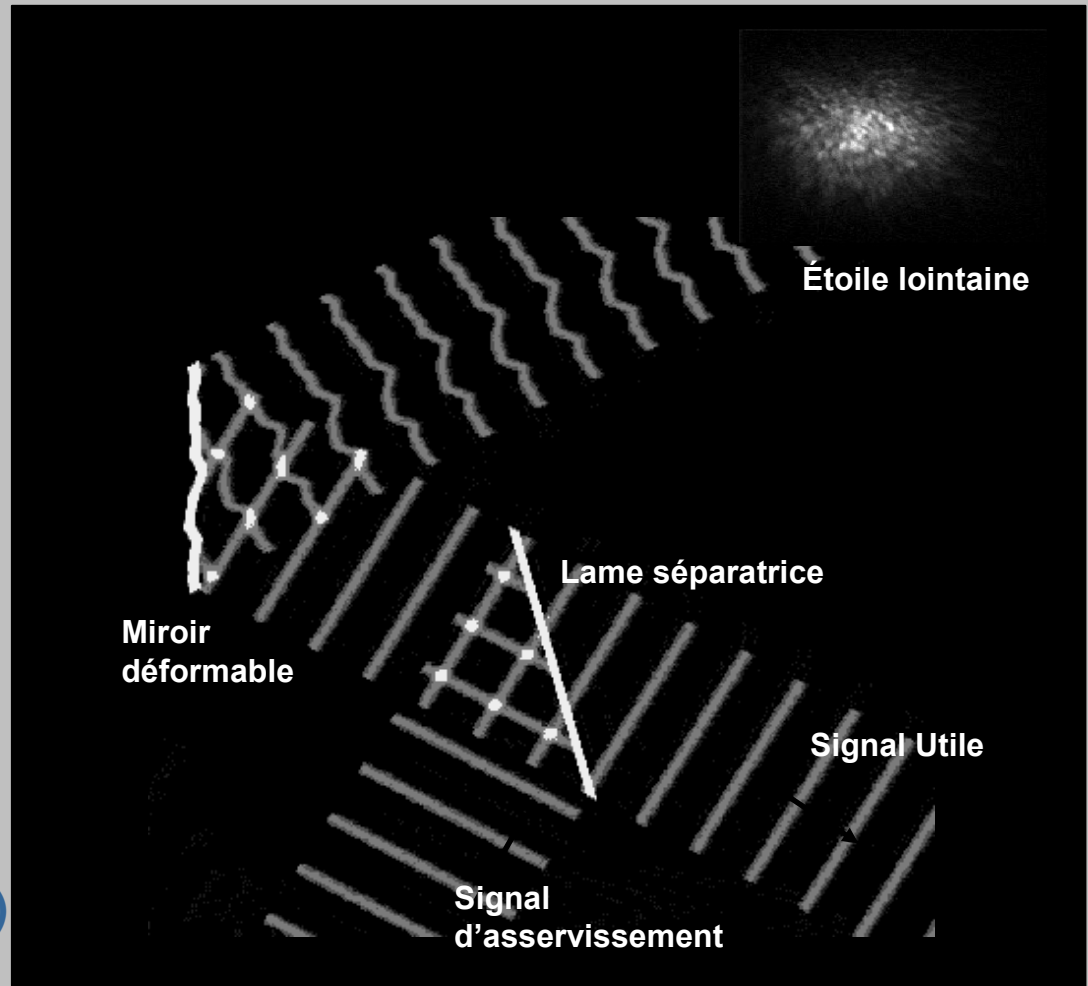
# Principe de l'OA

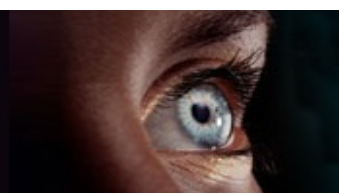
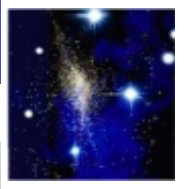


**Sans optique Adaptative**



**Avec optique Adaptative**





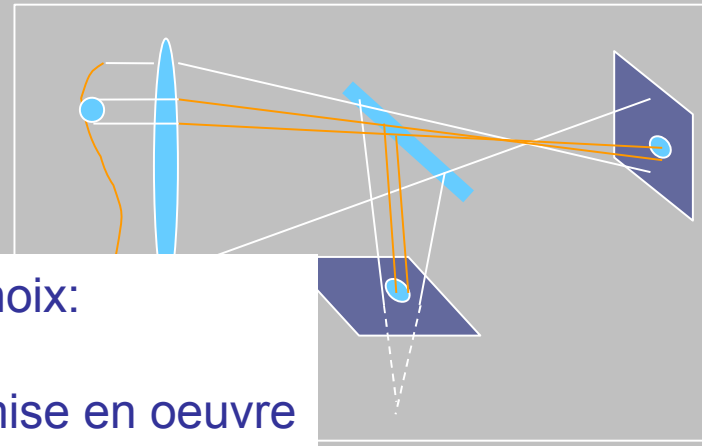
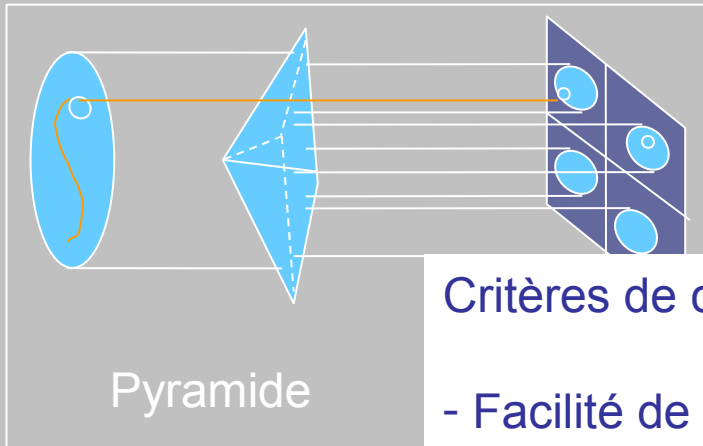
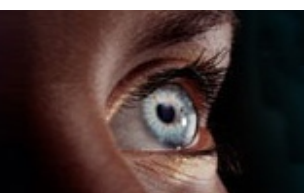
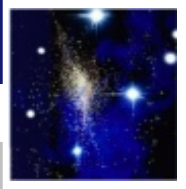
# Description des éléments principaux

## Note préliminaire:

Impossible faire une revue exhaustive de tous les senseurs et correcteurs existant.

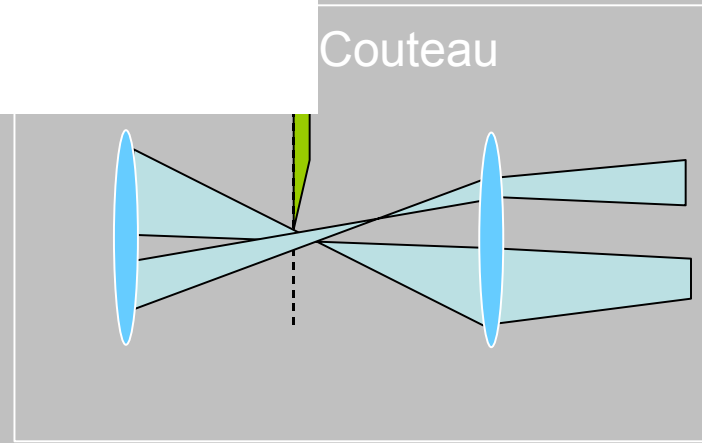
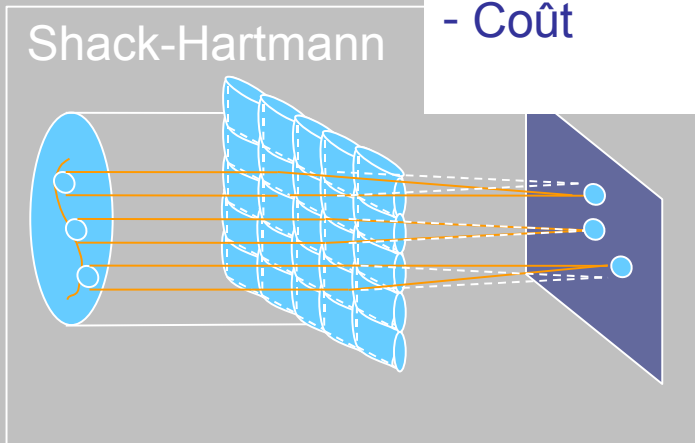


# Les senseurs de front d'ondes

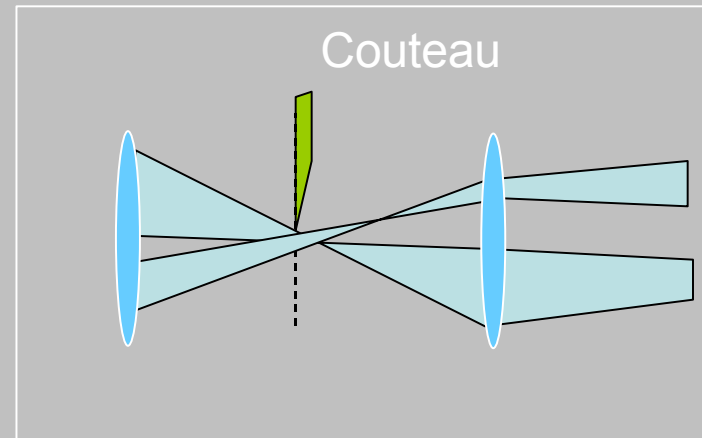
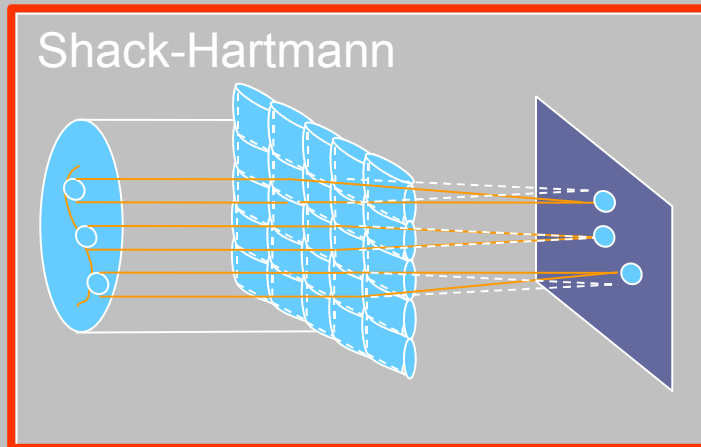
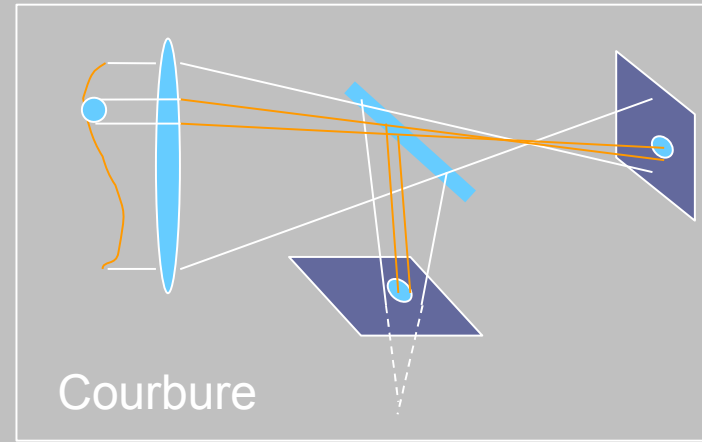
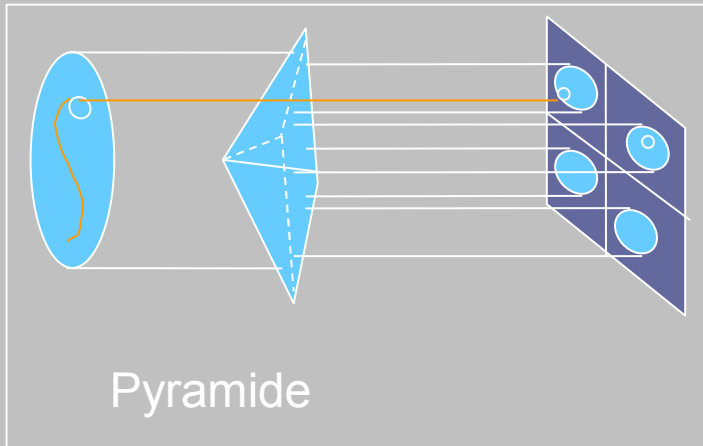
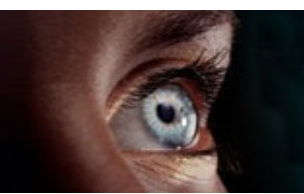
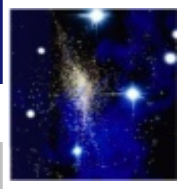


Critères de choix:

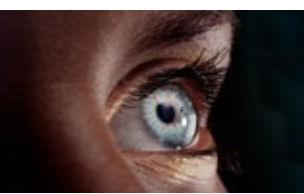
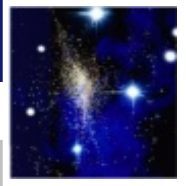
- Facilité de mise en oeuvre
- Efficacité
- Coût



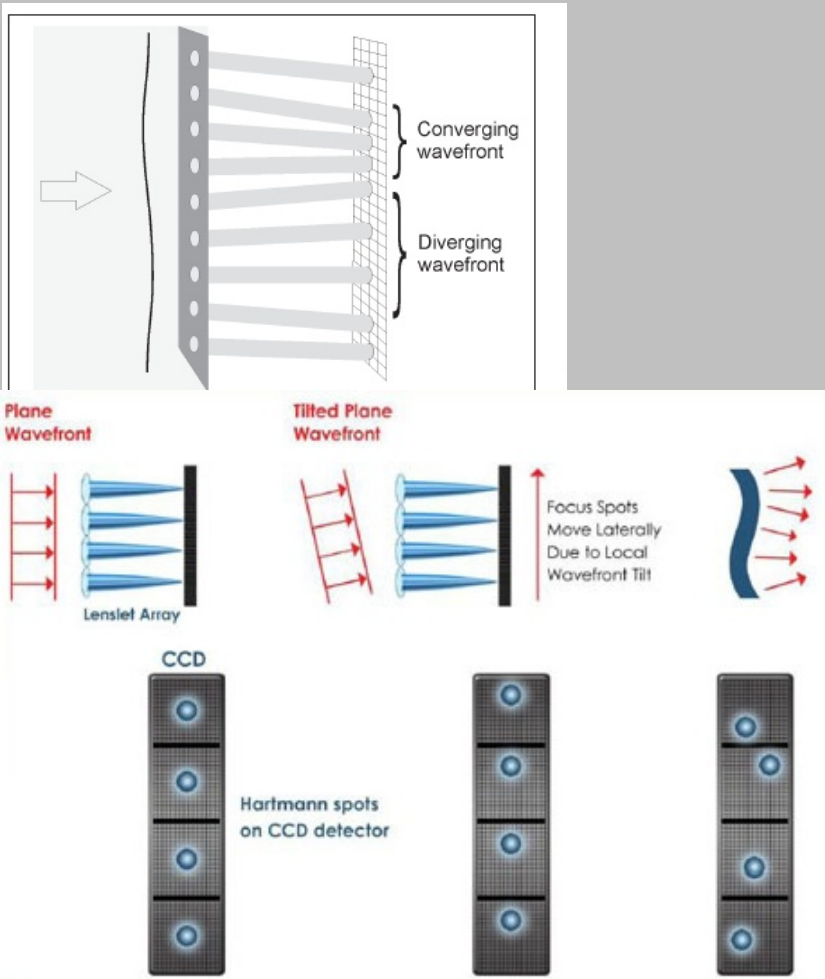
# Les senseurs de front d'ondes



# Les senseurs de front d'ondes



## Plaque de Hartman\*



Position du centre de gravité de chaque spot

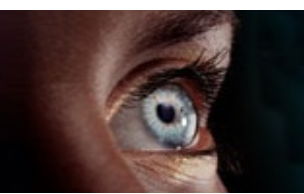
Mesure des pentes locales

Reconstruction du front d'onde par intégration

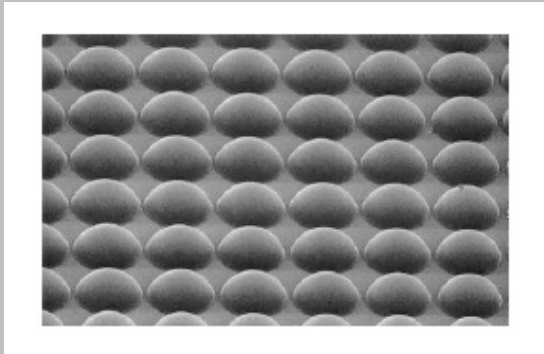


\*D'après Technology Tracking

# Quelques détails d'un S.H



- Grandeurs typiques des micro-lentilles:
  - Focale: quelques millimètres
  - Distance entre deux lentilles: qq. 100 $\mu$ m



Suss Micro-Optics

- Implémentation par l'utilisateur
- Solutions existantes (Thorlabs, ALPAO, )

⇒ ≥ 1000€



## Avantages:

- Vitesse
- Précision
- Coût/efficacité
- Simple

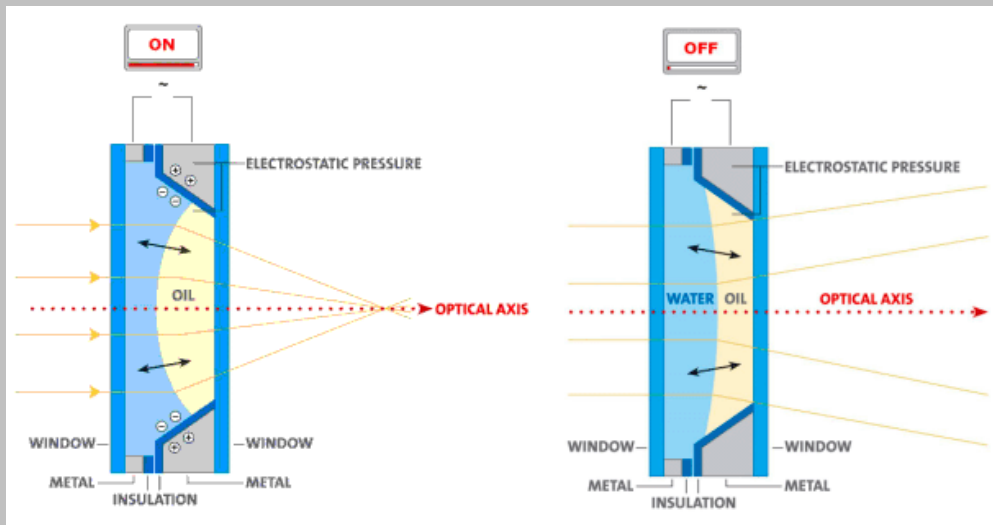
## Inconvénients

- Résolution fixe (dépendant de la trame de lentilles)
- Flux dilué
- Dynamique (spots voisins)



# Les correcteurs en transmission

## Transmission: lentilles variables



D'après: <http://www.varioptic.com/en/tech/technology-overview.php>



ARCTIC 416 de Varioptic



➔ Adapté à l'OA petits télescopes:



### Avantages:

- Compacité
- Facilité de mise en œuvre
- Faible consommation
- Coût

### Inconvénients

- **focus uniquement**
- **diamètre faible**

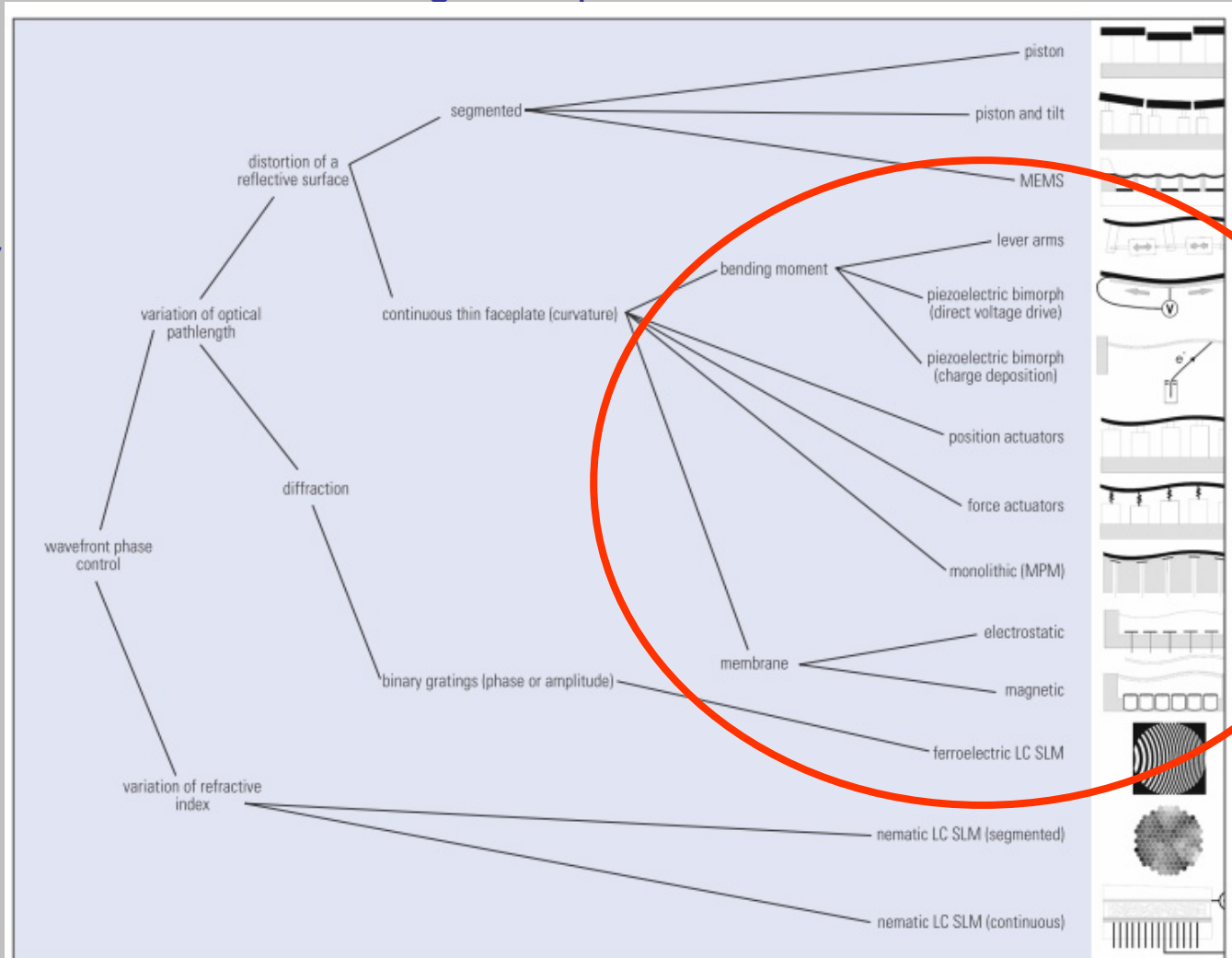
# Les correcteurs en réflexion

Grand nombre de technologies disponibles

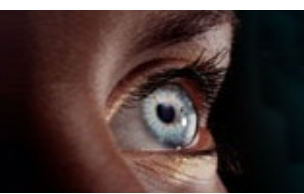
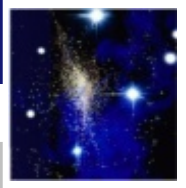


Choix de traiter  
les miroirs  
"continus"

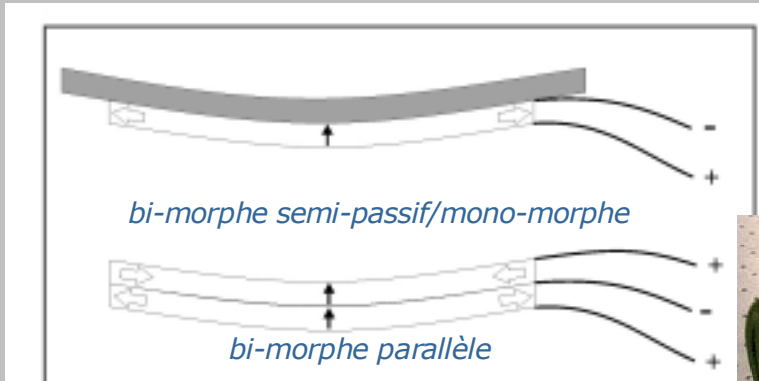
(≠ segmentés)



# Les correcteurs en réflexion



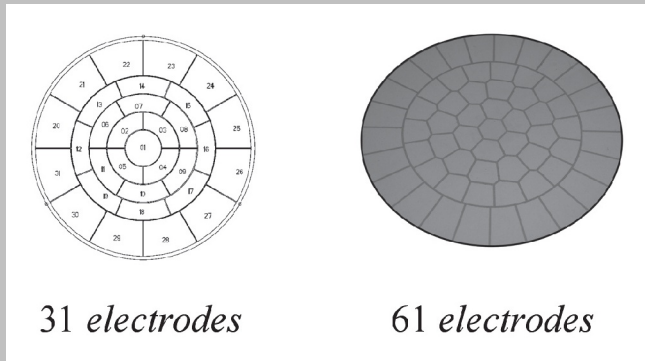
## Piezo-électrique: Monomorphe et bimorphe



D'après Technology Tracking, IOP



Diamètre = 98 mm  
Tenue au flux = 6 GW.cm<sup>-2</sup>  
(testé à ~2J/cm<sup>2</sup>)  
Actuateurs = 30+1  
Revêtement diélectrique  
Excursion = 6  $\lambda$



31 électrodes

61 électrodes

D'après Cilas



➔ **Adapté à l'OA petits télescopes:** 😞

### Avantages:

- actionnement puissant
- qualité optique (membrane épaisse)
- adaptée au laser de puissance

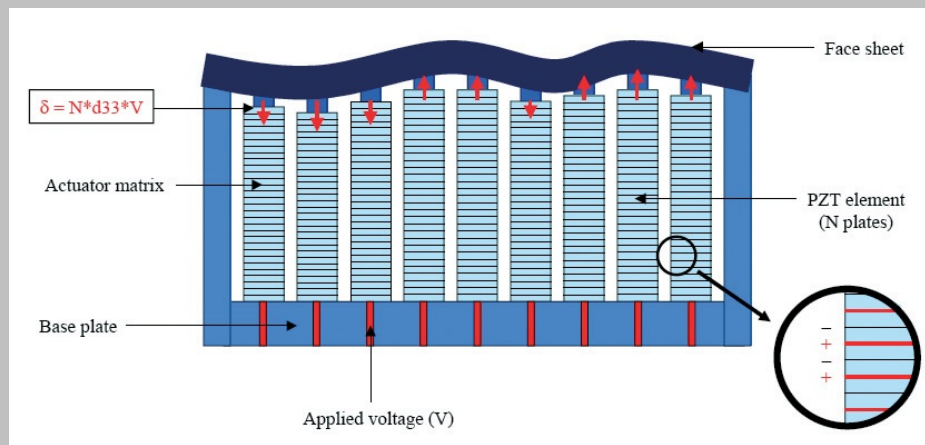
### Inconvénients

- hystérésis
- taille
- haute tension

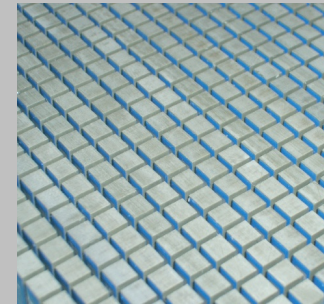
# Les correcteurs en réflexion

## Piezo-électrique: empilé (stacked)

Stack Array Mirror:  $\delta z = N * d_{33} * V$



Principe (d'après Cilas)



Site Cilas



SAM 349 de Xinetics

- Distance entre deux actionneurs: 3 à 5mm
- Phénomène d'hystérésis (céramique PZT)
- Nombre actionneurs: ~50 à ~4000

### Avantages:

- Force

### Inconvénients

- Coût
- Hystérésis
- Course (10µm)
- Haute tension (qq. 100V)

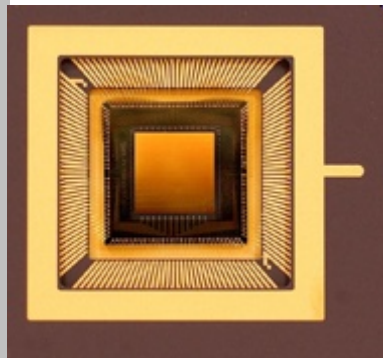
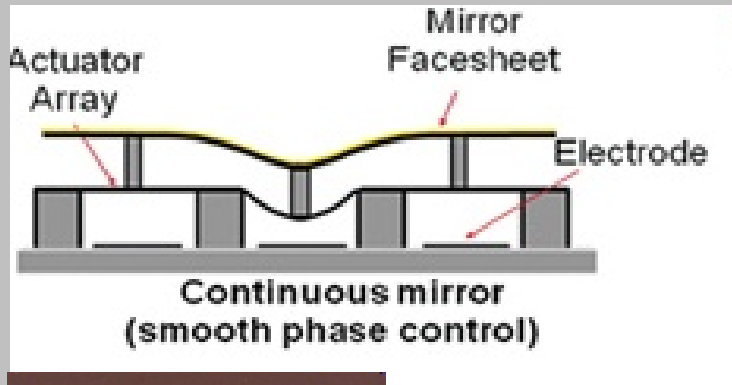


➔ Adapté à l'OA petits télescopes:



# Les correcteurs en réflexion

## Electro-statique (techno. Micro-électronique)



(Boston Micromachines)

Force proportionnelle au carré de la tension:

$$\rightarrow F \sim V^2$$

$$\rightarrow \delta z \sim V^2$$

### Avantages:

- Coût (procédé collectif)
- Compacité
- Nombre d'actionneurs
- Vitesse

### Inconvénients

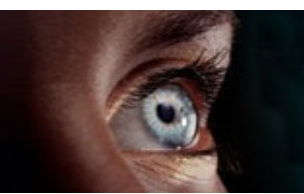
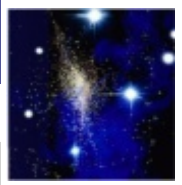
- Course
- Non linéaire
- Haute tension

→ Faible course: 1<sup>er</sup> étage requit pour bas ordres



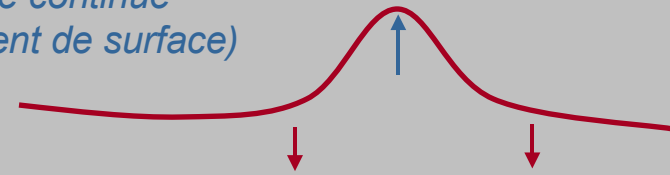
➔ Adapté à l'OA petits télescopes: 😞

# Les correcteurs en réflexion



## Magnétique

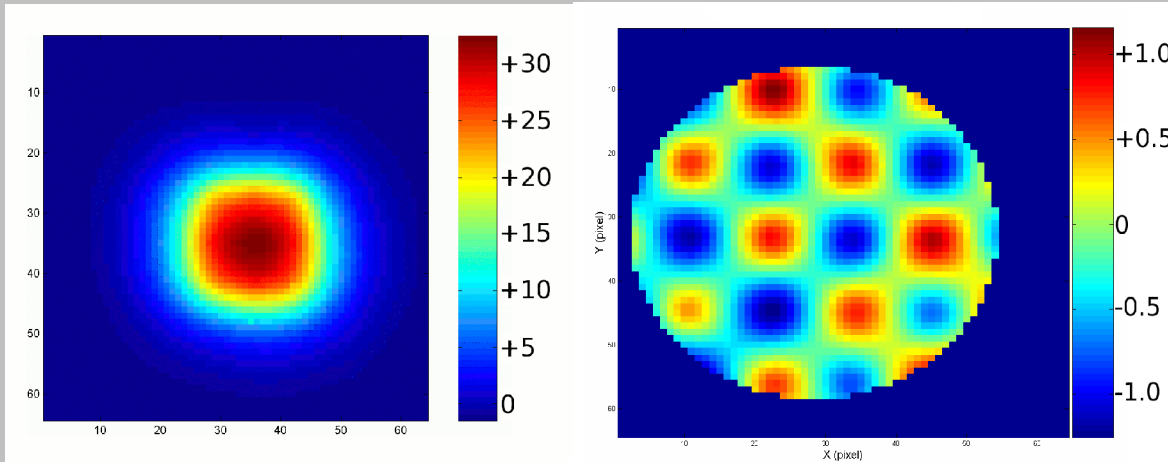
Membrane continue  
(avec traitement de surface)



Forces magnétiques



Hi-Speed dm97 (ALPAO): Distance entre deux actionneurs: 1.5mm



Course 3x3 > 20 $\mu$ m (miroir)

Pousser/Tirer > 1 $\mu$ m



Adapté à l'OA petits télescopes: 😊

### Avantages:

- Compacité
- Course (tip-tilt)
- Linéarité
- Bande passante
- Basse tension

### Inconvénients

- Nombre d'actionneurs limité
- Coût

# Le contrôle du système

## Fonctions:

- Acquiert le signal issu du senseur de front d'ondes
- Calcul le front d'onde
- Calcul la commande à appliquer au correcteur (reconstructeur)
- Envoie la commande au miroir

## Choix d'un reconstructeur

Modal:

-> décomposition en mode

Ex: Zernike

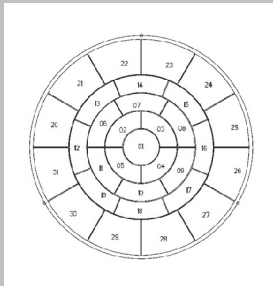
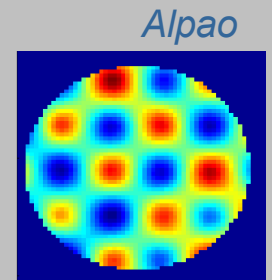
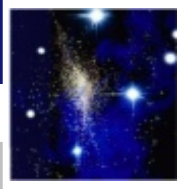
Zonal:

-> matrice d'interaction

-> pente du senseur FO

Correction

Calibration nécessaire !



Cilas



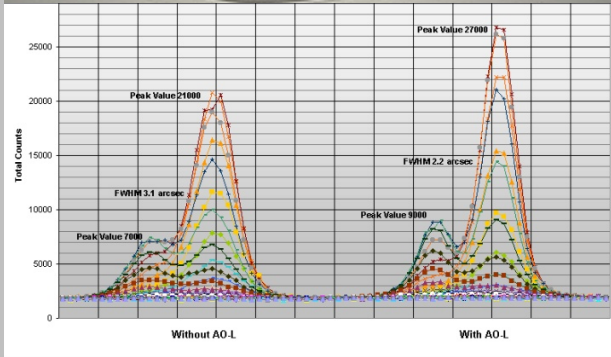
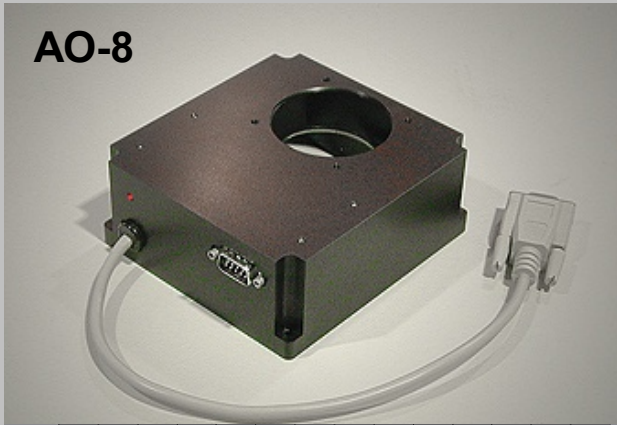
Solutions existantes: Thorlabs (?), ALPAO (matlab, labview !)



# Les systèmes existant

## Systèmes SBIG: système incluant ou non le détecteur

AO-8



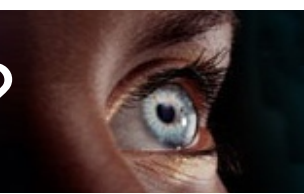
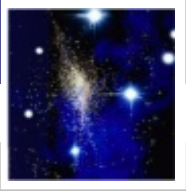
Pas de correction du front d'ondes:

Contrôle de déplacement de l'image:

- Défauts de guidage
- Correction des 1ers ordres de l'atmosphère (tip-tilt)
- Fréquence: 10 corrections/secondes
- coût: 1000 à 1500€

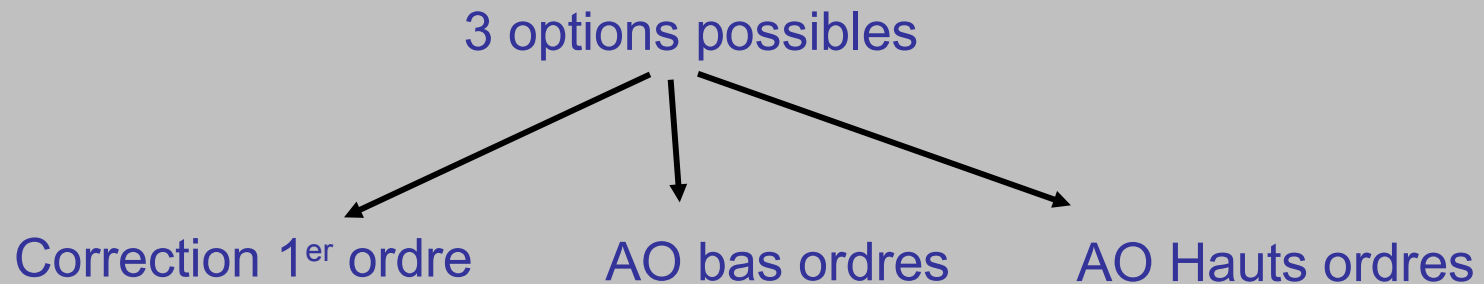


# Quel système pour l'OA amateur ?



## Spécifications du système:

1<sup>ère</sup> question: que souhaite t'on corriger ?



# Quel système d'OA: tip-tilt

→ Mêmes objectifs que les systèmes SBIG !!

Quelles améliorations à apporter ?

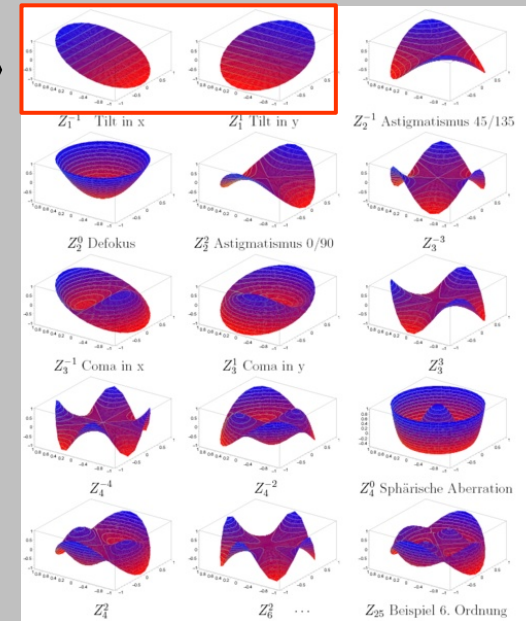
Sensibilité (faible flux)

Rapidité (???)

Utilisation de diodes à avalanche senseur de position type "4 quadrants"

Améliorations possibles mais impact sur le coût

→ SBIG bien placé (détecteurs)



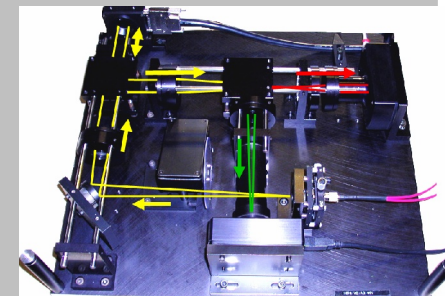
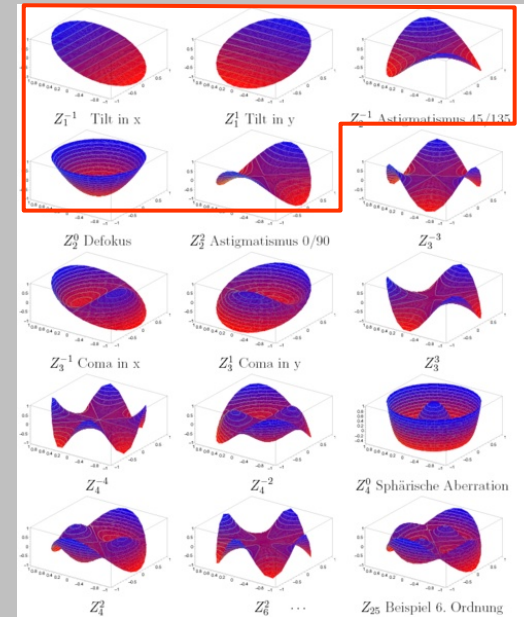
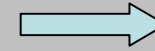
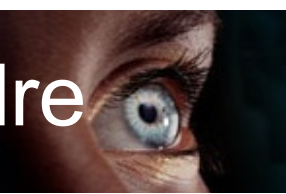
# Quel système d'OA: système bas ordre

→ Correction des bas ordres

- Défaut de guidages
- Défauts du miroir
- Déformations structure télescope
- 1ers ordres de l'atmosphère

- Miroir: peu d'actionneurs (ALPAO)
- Senseur type Shack-Hartman
- PC standard

→ Coût et complexité très dépendant des spécifications  
Systèmes existant (≈30k€ !): Thorlabs, ALPAO



ALPAO



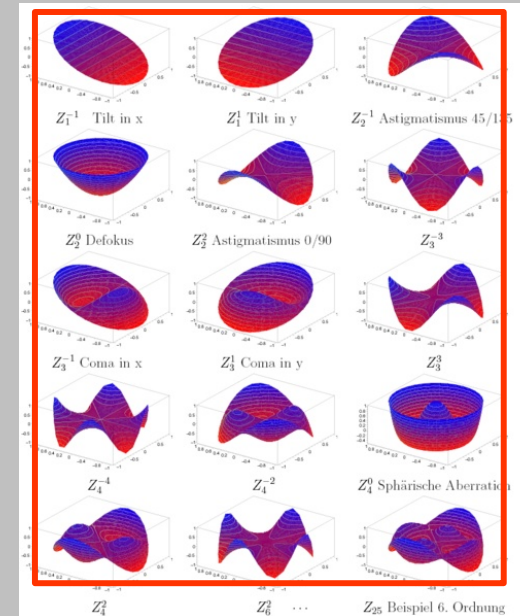
# Quel système d'OA: Hauts ordres

→ Correction haut ordres

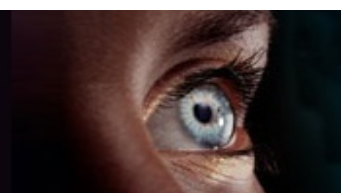
- Haut ordres = beaucoup d'actionneurs
- Shack-Hartman sensible (dilution du flux)
- Miroir (ALPAO, Boston Micro-machines)
- PC standard

Système existant (ALPAO) :

- banc d'OA sur table (60x50cm)
- Camera EMCCD (3<sup>e</sup> de bruit)
- Bande passante boucle > 450Hz
- Miroir 97 actionneurs ou plus



# Autres spécifications ?



## Correction bas et haut ordres

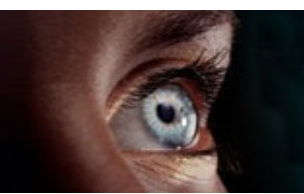
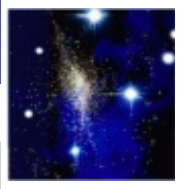
- Améliorations possibles → quel marché ?

## Correction bas et haut ordres

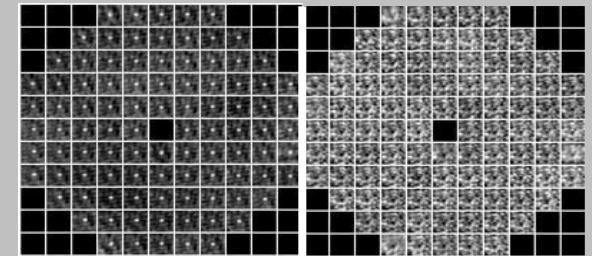
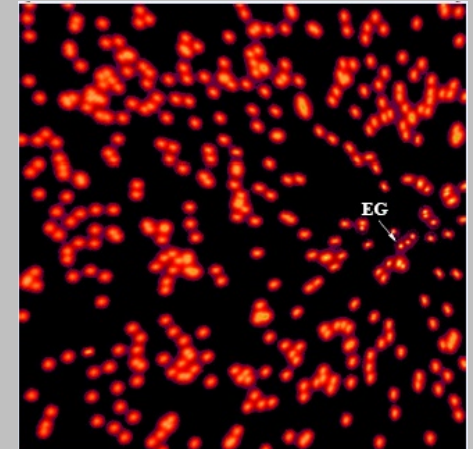
- Quel objectif (imagerie, spectro)
- Pour quelle télescopes (200, 400 mm)
- Conception du système pour quelle atmosphère
- Quel type d'objet (étendu, magnitude)
- Quel coût visé/quels utilisateurs (grand public ou clubs)



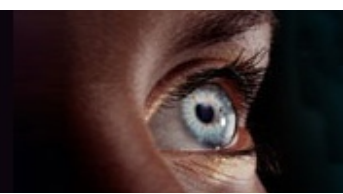
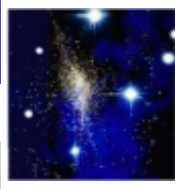
# Limitations/difficultés intrinsèques



- Champ limité: Anisoplanétisme →
- Calibration du système (réponse du miroir)
- Robustesse (accroche de la boucle)
- Cas d'un objet étendu →



# Conclusion

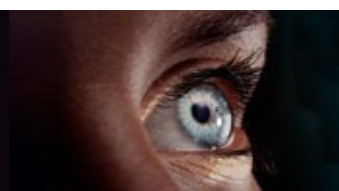
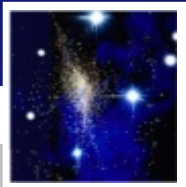


- Briques techno. mures pour l'OA petits télescopes
- Pas le système...
- Spécifications difficiles à établir: diversité du marché
- Marché difficile à cerner
- Limitations intrinsèques (anisoplanétisme)
- Développement à mener pour arriver à un produit fini (2 ans pour un produit mature)

Première étape possible:

→ AO bas ordre pour optimisation couplage spectro





***Merci pour votre attention !***

***Je suis à votre disposition pour toutes vos questions !***

