

Espace:

NASA Terrestrial Planet Finder :

« request for proposals »

- Trois approches à l'étude:
 - Coronographe visible sur télescope monolithique
 - Interféromètre infra-rouge à structure porteuse
 - Interféromètre infra-rouge à free-flyers
- Détection d'exo-Terres jusqu'à 15 pc

Exo-planètes: visible ou infra-rouge thermique ?

- Résolution: une ouverture de quelques mètres suffit dans le visible, mais pas à 10 microns
- Contraste planète/étoile (exo-Terre) :
 - visible 10^{-10}
 - infra-rouge 10^{-6}
- Nécessite des raffinements: lesquels ?

Difficulté de la coronographie exo-planétaire

onde



- Exige une optique ultra-précise
- Tolérance de bosselage : $\lambda/100$ ou $\lambda/1000$
($\lambda/4$ suffit pour l 'optique usuelle « de précision »)
 - Très bonne optique adaptative au so ? Difficile !
- Tolérance d 'uniformité d 'amplitude
 - Sol: ombres volantes engendrées en altitude
 - Hétérogénéités de l 'optique

Coronographe actif à plusieurs étages

(Labeyrie 2002)

- Buts:
 - relacher la tolérance de bosselage
 - corriger l'effet des ombres volantes et speckles fixes
- Mettre en phase le résidu stellaire (étoile supposée non résolue), sans perturber la planète
- Former un pic d'interférence en diffraction lointaine
- Le masquer avant de ré-imager
- Recommencer si nécessaire

soit.....

un télescope bosselé (faiblement),
avec un coronographe parfait

Onde bosselée

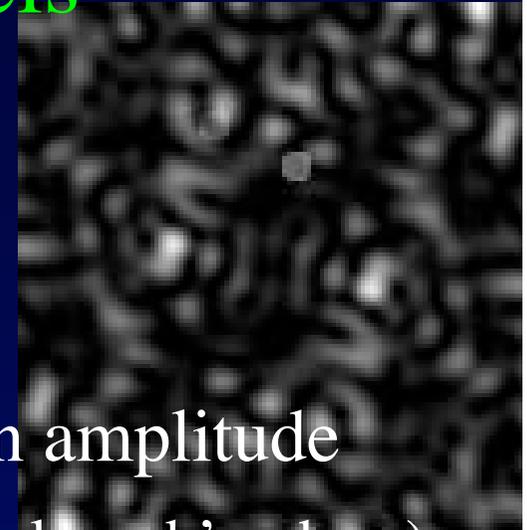


- Onde du télescope:

$$e^{i\phi(x,y)} \quad \text{ou} \quad 1 + i\phi(x,y) \quad \text{si bosselage faible}$$

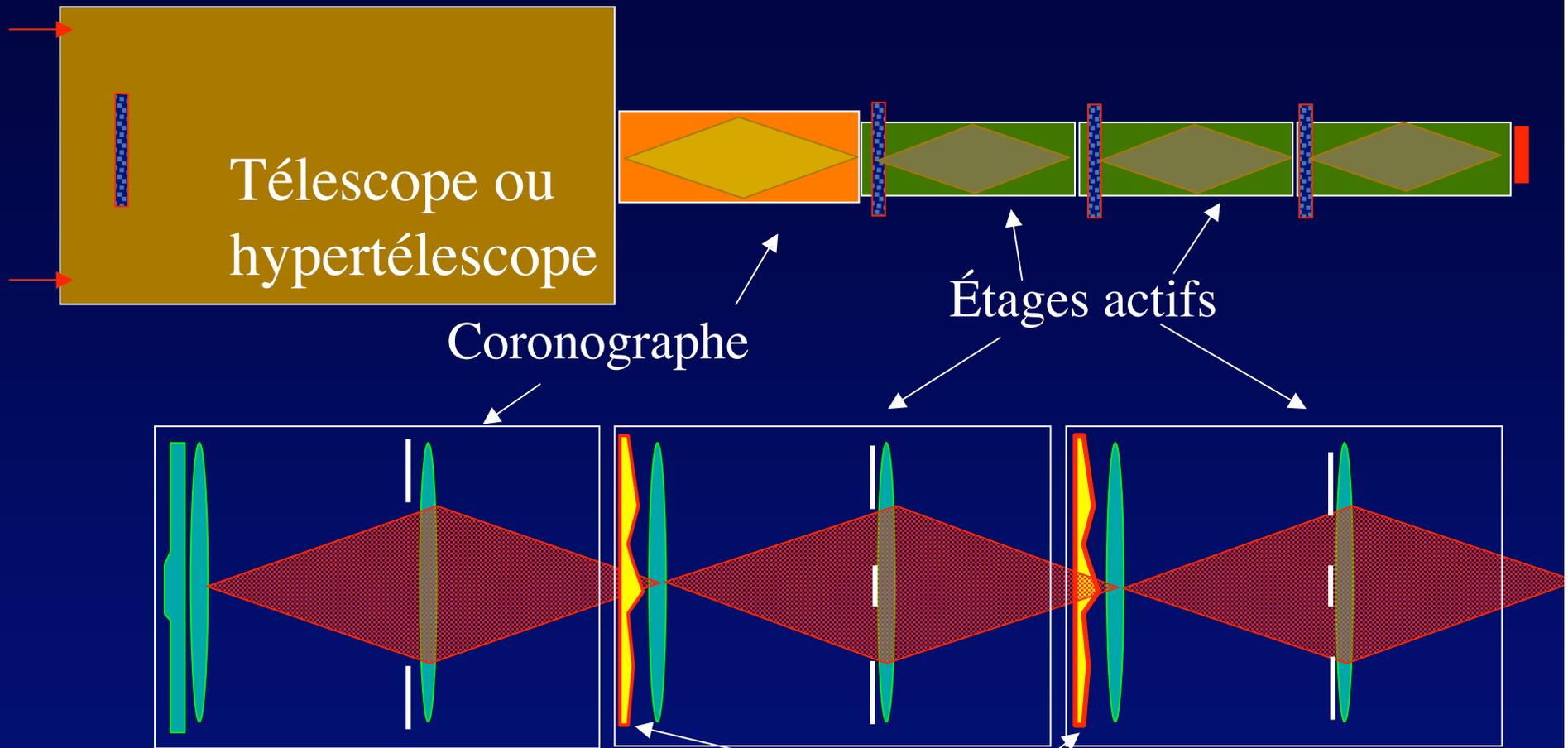
- un coronographe parfait annule le premier terme, il reste la perturbation $i\phi(x,y)$
- Transformée de Fourier symétrique, en intensité (Boccaletti et al., 2002)
- Pas de pic central car $\phi(x,y)$ est à moyenne nulle

Mettre en phase les speckles résiduels



- pupille de sortie: le bosselage est traduit en amplitude réelle à moyenne nulle (exploitable pour l'analyse d'onde...)
- Image avec speckles, sans pic central, intensité centro-symétrique
- **Mise en phase** => pic central dans la pupille, **masquable**
- Formation d'une image relayée, nettoyée

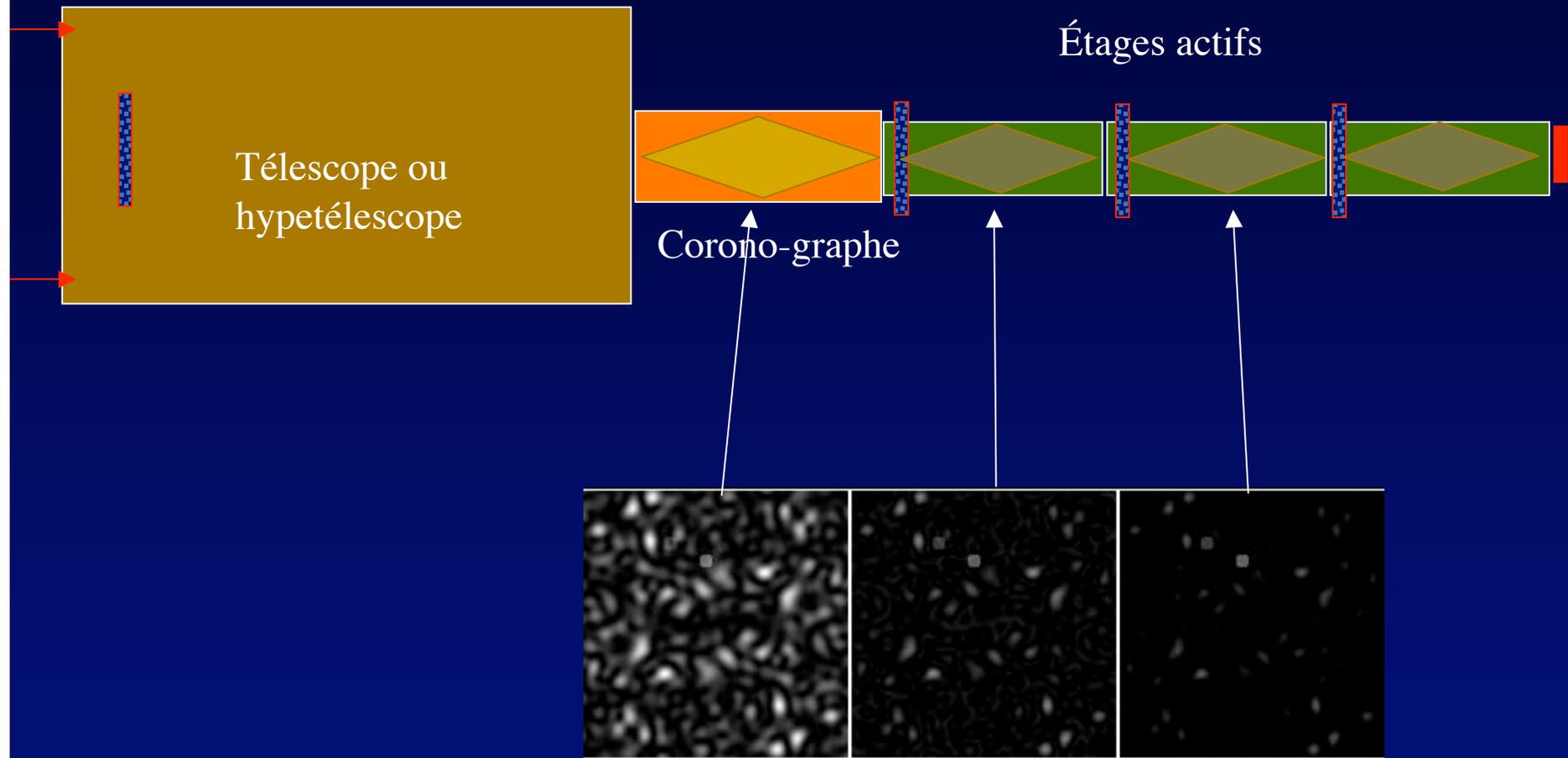
Coronographe et étages actifs additionnels



- Étage actif:
 - Mise en phase des speckles résiduels
 - Engendre un pic d'interférence
 - Annulé par masque opaque ou de phase

Lame déformable

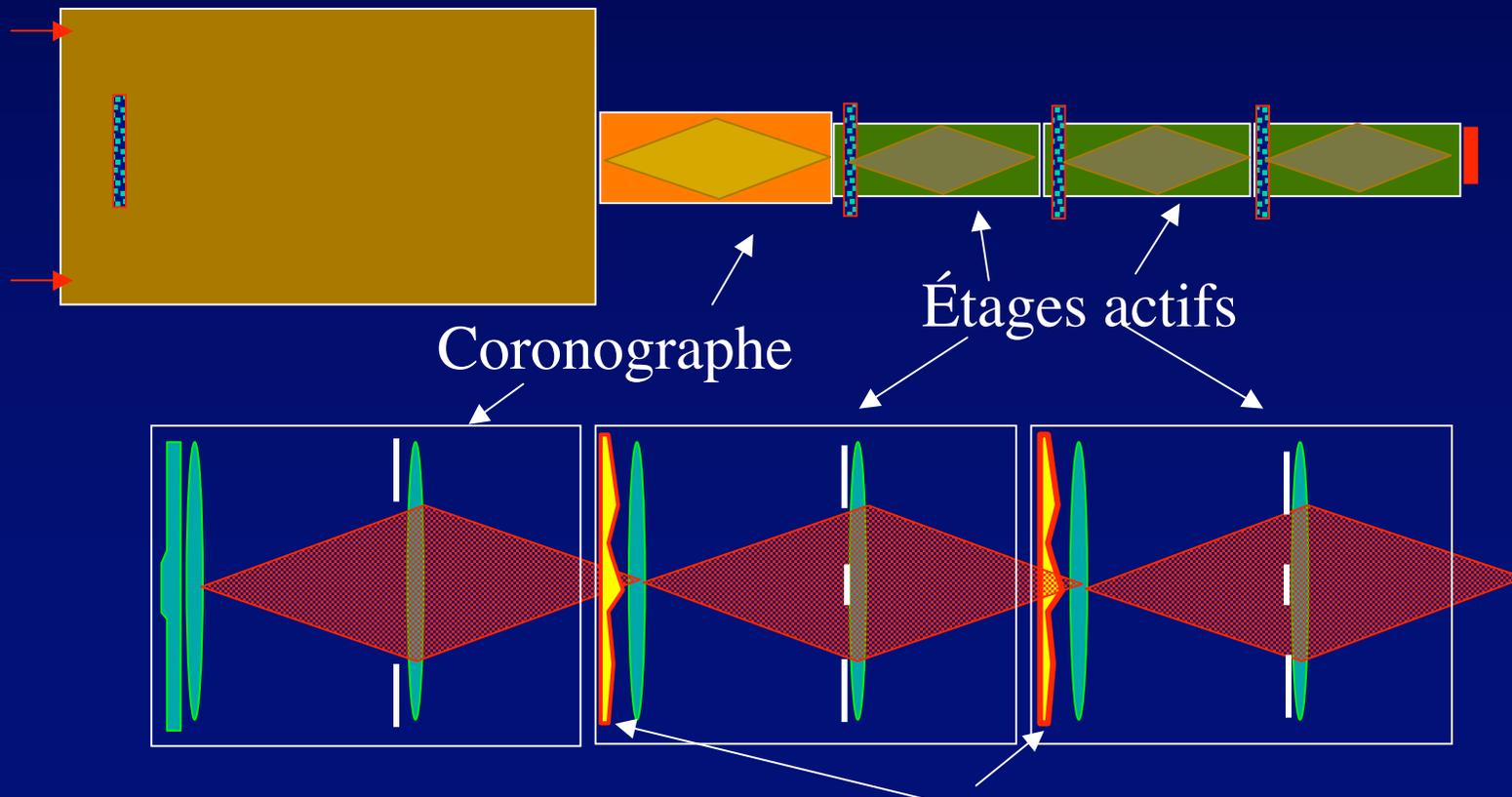
Coronographe et étages actifs additionnels



- Atténuation 7 à 10 par étage
- Planète non affectée

Pourquoi la planète est peu affectée

- Le pic planète couvre un seul actuateur des relais actifs: il est globalement déphasé
- Le masque pupillaire des relais actifs dégrade peu la planète (effet d'obstruction centrale)



Vue de près: deux exemples

Sortie coro

Relai 1

Relai 2

- Atténue les speckles brillants, allume les noirs

planètes

Sortie coro

Relai 1

Relai 2

Effet des résidus de la phase annulée

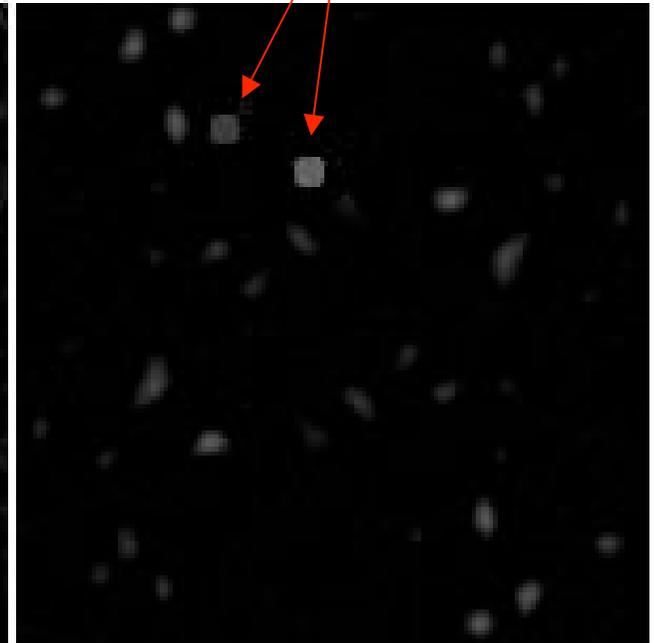
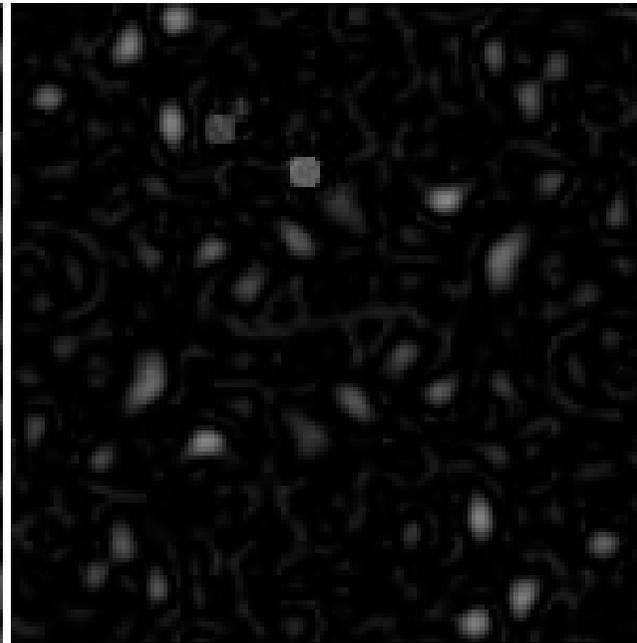
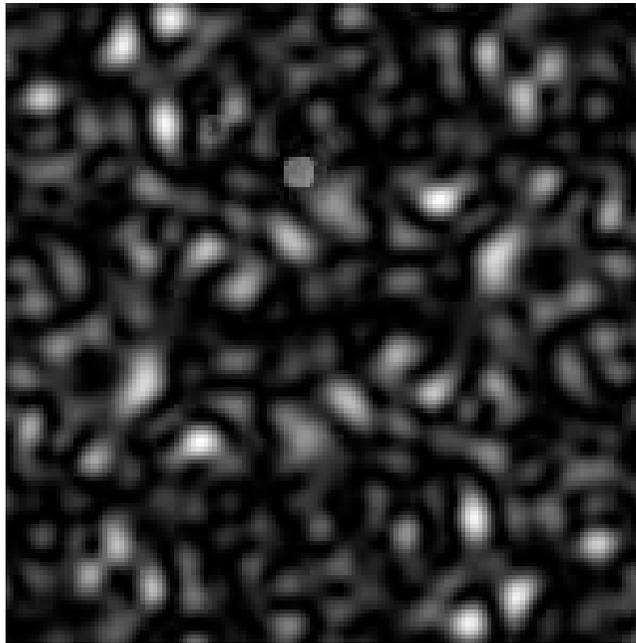
Résidus ϕ

Résidus $\pm \pi$

- Tolérance $\pm \pi/4$ pour étages 2,3,.. etc..

Simulations

planètes



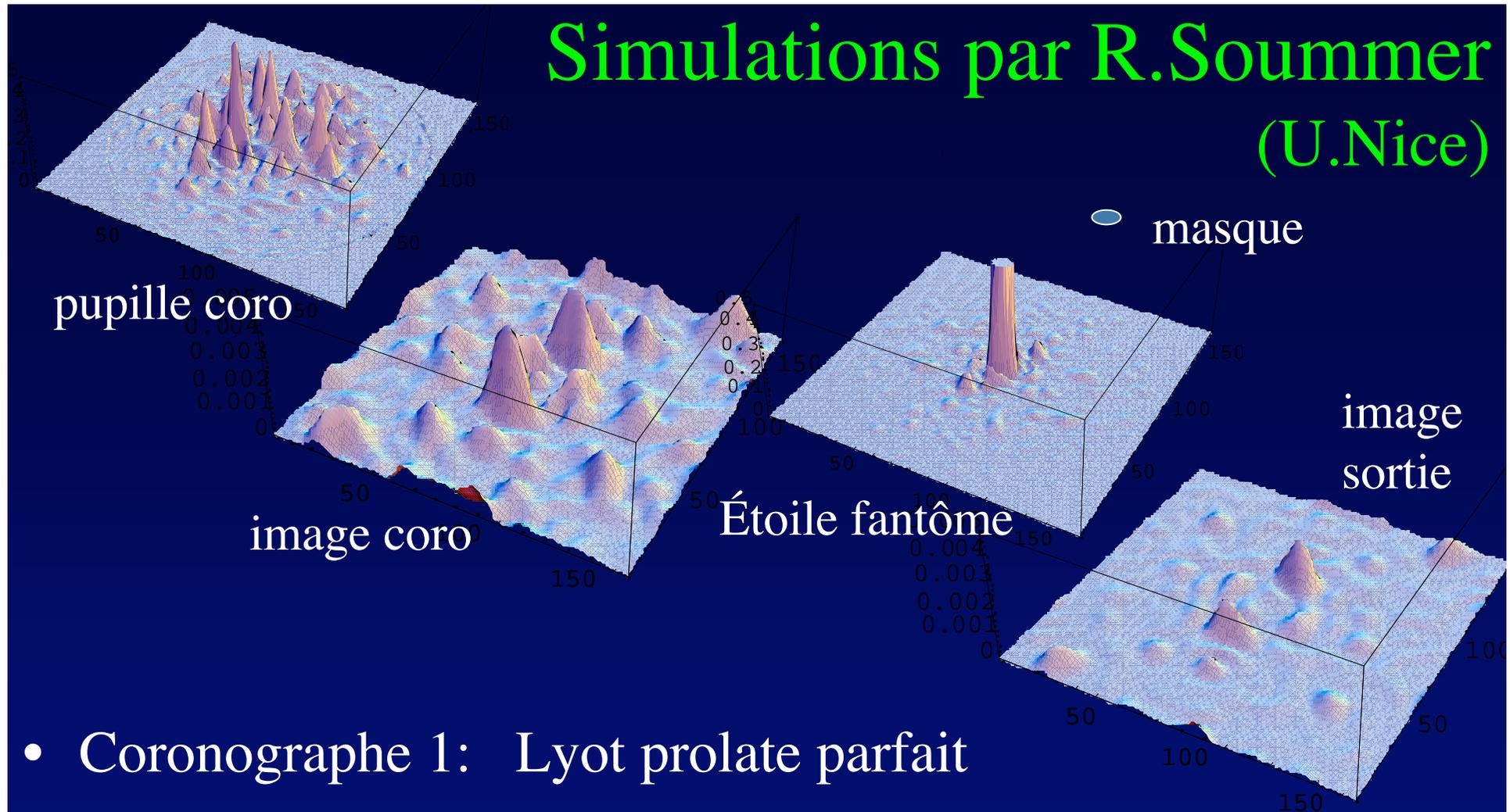
résidu moyen 1

0,17

0,02

- Coronographe 1 supposé parfait, mamelonnage $\ll \lambda/4$
- Étages suivants: masque Roddier dans la pupille
- Gain à chaque étage 7 à 10

Simulations par R.Soummer (U.Nice)



- Coronographe 1: Lyot prolata parfait
- mamelonnage « ONERA » (Strehl 90%)
- Masque opaque dans la pupille suivante
- atténuation 10 environ par étage

Simulations par P.Nisenon (Harvard/CFA)

- Confirme le gain par étage...
- ... et le relachement possible des tolérances sur le miroir primaire
- Favorise son concept de coronographe visible monopupille pour TPF
- Proposition en préparation pour précurseur de TPF :
 - miroir parabolique hors d'axe, 1,8m
 - correcteurs fixes de speckles

Simulations par R.Lyon (NASA/Goddard)

- Trouve un plafonnement pour 50 étages...
- Propose de déphaser aussi l 'onde pour mieux atténuer ...
- ... mais il ne faudrait pas dépasser $\pi/2$ pour éviter de dégrader la planète
- À explorer

Conclusions et travail futur

- Relache les tolerances de bosselage (polissage et OA)
- Corrige l 'effet des ombres volantes
- Rend détectables les planètes apportant plus de 10 photons ? ?
- Préciser les performances théoriques par simulation plus poussée (bruit de photons, étoile partiellement résolue)
- Essayer en laboratoire, au sol sur le ciel
- Applicable à VLT-PF , VIDA, TPF/DARWIN ?