

Etude, Simulation et Réalisation d'un prototype de spectrographe à intégrale de champ

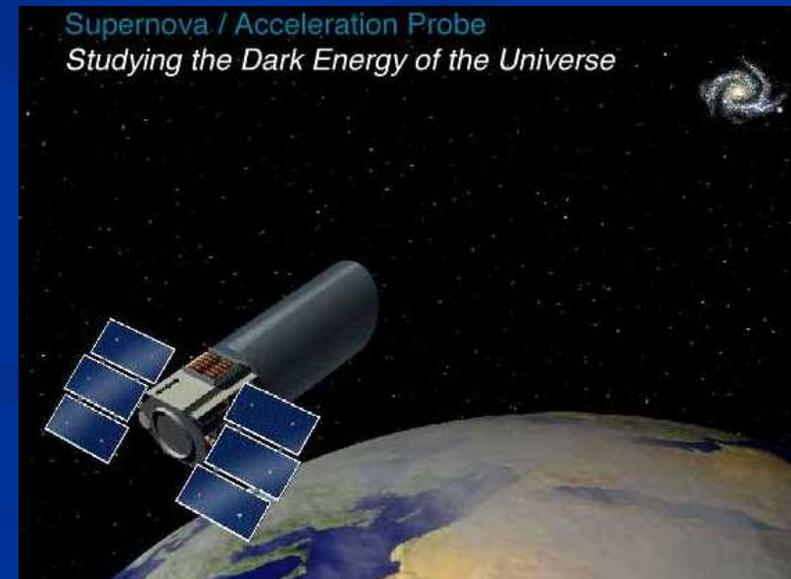
Marie-Hélène AUMEUNIER

Directeurs de Thèse:

Anne EALET

Roger MALINA

11 Avril 2005



Problématique

Etude des performances d'un spectrographe optimisé pour la mesure de l'énergie noire

1- Mesurer avec une grande précision le spectre de supernovae lointaines de faible luminosité

2- Calibrer des étoiles de référence très brillantes avec une précision de 1%

1. Contexte scientifique

2. SNAP

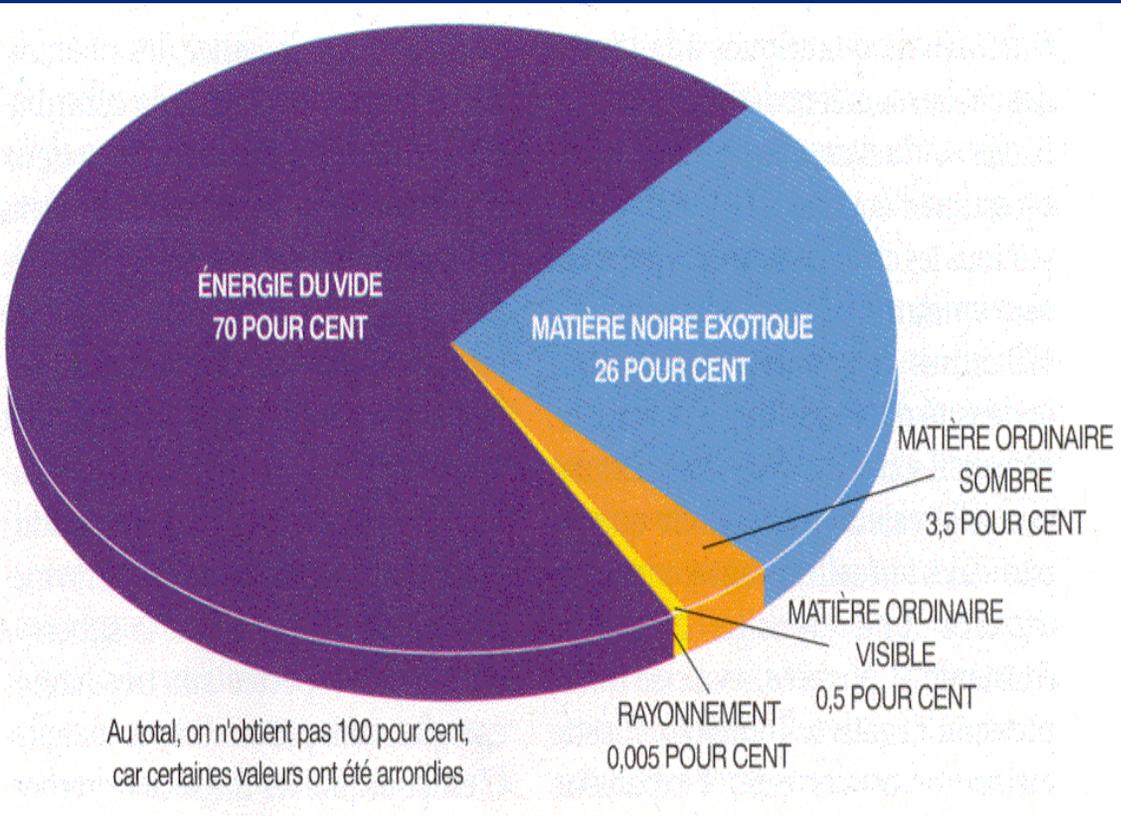
3. Etude du spectrographe

3.1- La simulation

3.2- Le démonstrateur

4. Conclusions - Perspectives

Problématique cosmologique



Ce qu'on sait ...

Univers composé de 70% d' « énergie noire »

Responsable de l'Accélération de l'univers

Ce qui est à déterminer...

Nature de l'énergie Noire ?

La méthode

Détermination des paramètres cosmologiques qui définissent l'énergie noire par la mesure de supernovae

Principe de mesure des paramètres cosmologiques avec les SN Ia: diagramme de Hubble (m-M vs z)

On mesure :

- Magnitude apparente m
- Décalage spectral z

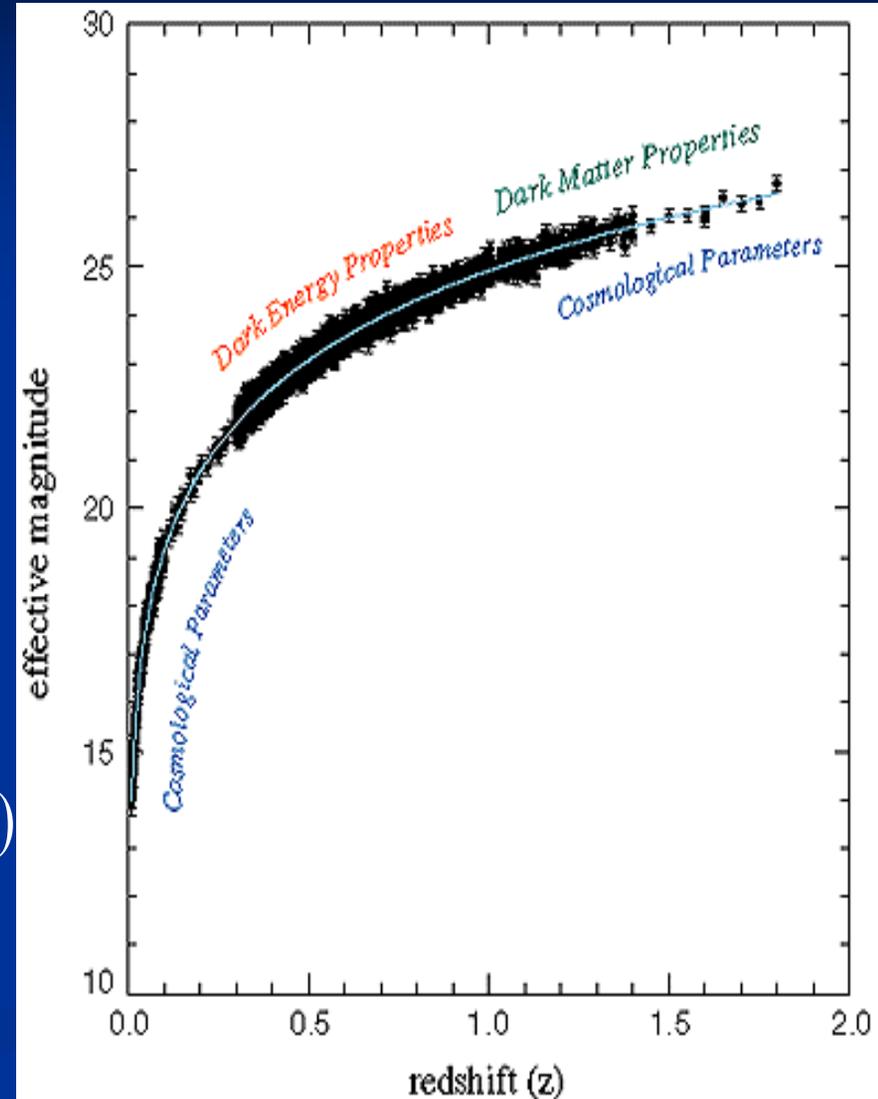
On ajuste les paramètres cosmologiques :

$$m - M = 5 \log(H_0) + 25 + 5 \log(D_L(z))$$

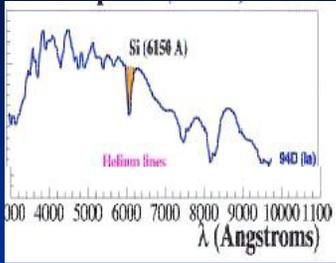
distance de luminosité $D_L(z, \Omega_k, \Omega_m, \Omega_\Lambda, w)$

Objets des mesures:

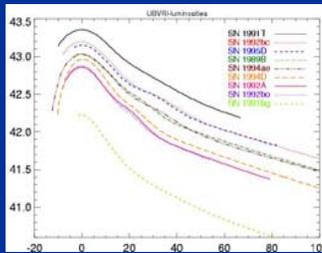
supernovae de type Ia
(meilleures chandelles standardisables)



La méthode



Identification
des SN Ia



Magnitude

Spectre de
galaxie

Mesure du
décalage
spectral z

Diagramme
de Hubble
($m-M$ vs z)

Ajustement des
données à un modèle
cosmologique

Détermination des
paramètres
cosmologiques avec
barres d'erreur

Etat actuel

Mesures actuelles : ~ 150 SN la proches obtenues avec des instruments au sol + quelques mesures de HST (résultats publiés par SCP (2003) et Riess (2004))

Mesures en cours : expérience SNLS (SuperNovae Legacy Survey) ~ 700 SN la prévues pour 2007 ($z < 1$)

Futures Mesures : SNAP/JDEM jusqu'à $z=1,7$

1. Contexte scientifique

2. SNAP

3. Etude du spectrographe

3.1- La simulation

3.2- Le démonstrateur

4. Conclusions - Perspectives

Objectifs de SNAP

Mission : optimiser les performances de mesures de paramètres cosmologiques

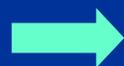
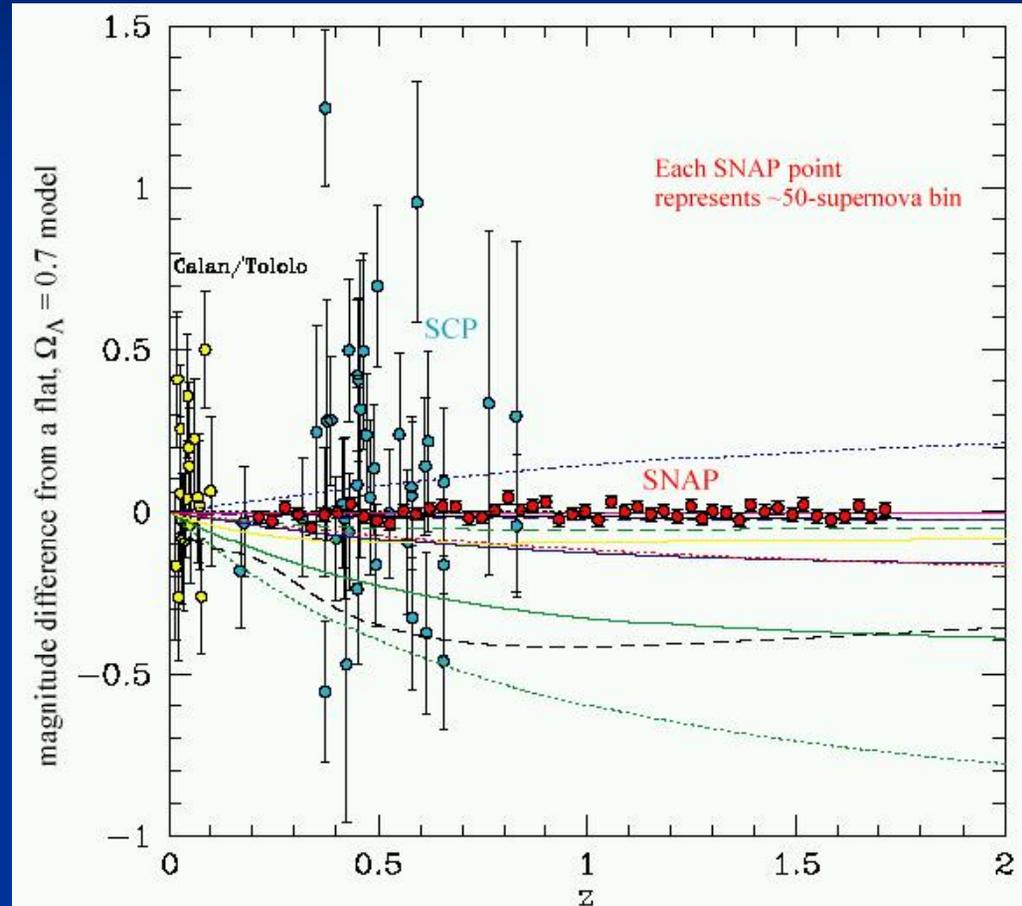
Consolider les résultats actuels

Réduire les incertitudes statistiques et systématiques

Réduction des erreurs de mesure au %

Etudier la nature de l'énergie noire et sa dépendance (ou non) avec la distance z

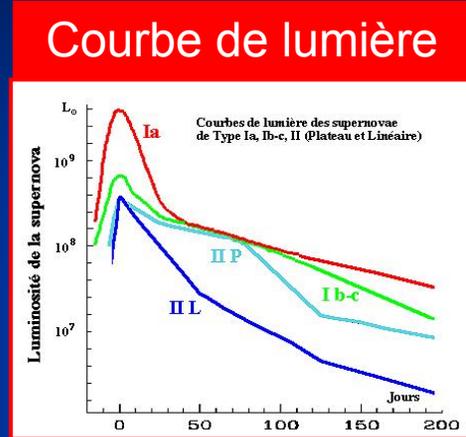
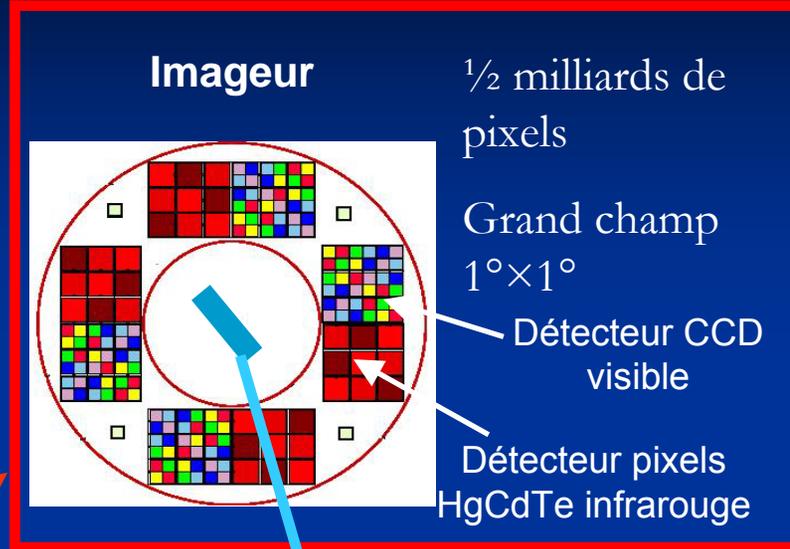
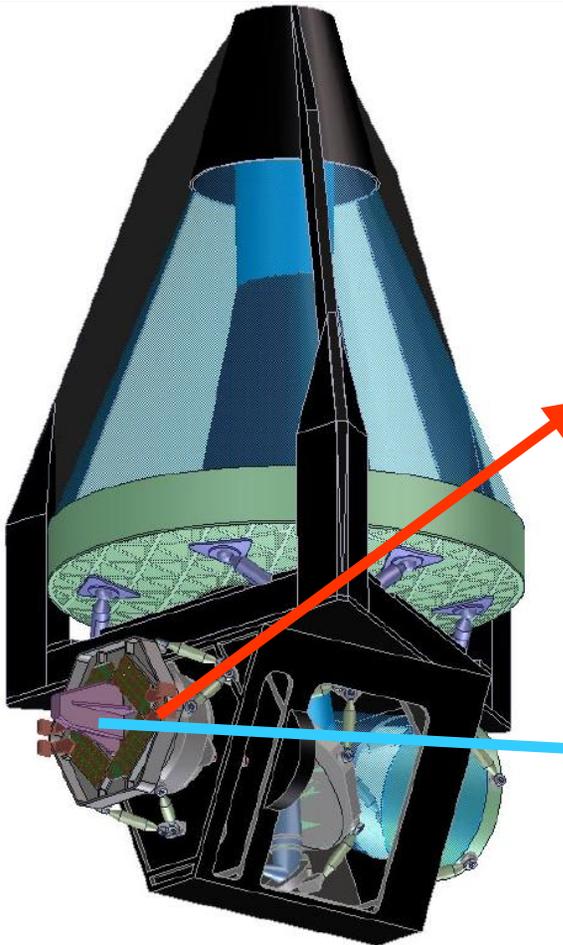
Voir la zone de décélération ($z=1.7$)



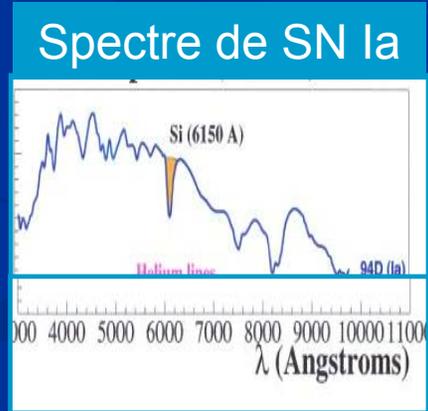
Quel instrument ?

Spécifications de l'instrument

Miroir de 2 mètres pour mesurer les SN à grand z



Spectrographe



Quel spectrographe ?

1. Contexte scientifique

2. SNAP

3. Etude du spectrographe

3.1- La simulation

3.2- Le démonstrateur

4. Conclusions - Perspectives

Spécifications scientifiques

Identifier les SN Ia : mesurer la raie de Si à $0,615 \mu\text{m}$ jusqu'à $z=1,7$

→ Large plage de longueur d'onde : 0.4 à $1.7 \mu\text{m}$

Contrôler les paramètres d'explosion des SN Ia par la mesure de certaines caractéristiques spectrales (rapport des raies)

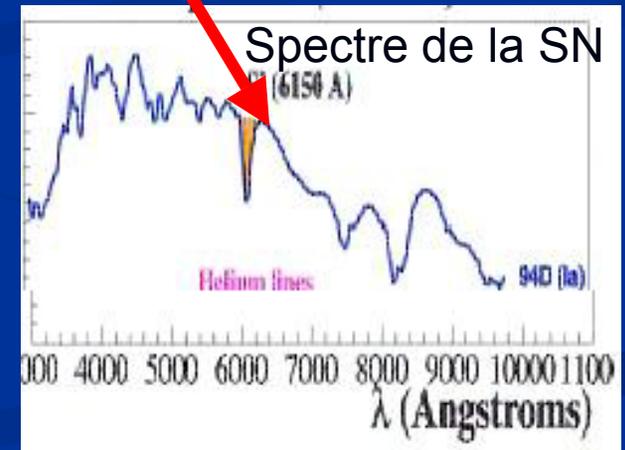
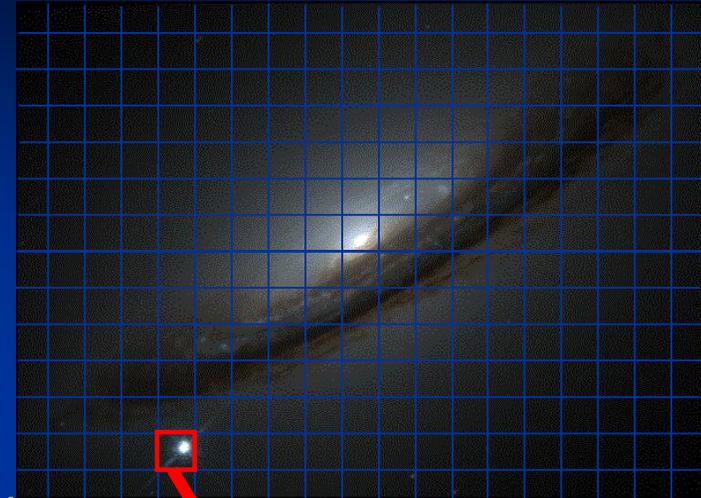
→ Optimiser la résolution et le rapport S/N

Obtenir simultanément le spectre de la SN et de la galaxie entière pour soustraire la galaxie de la SN et mesurer z

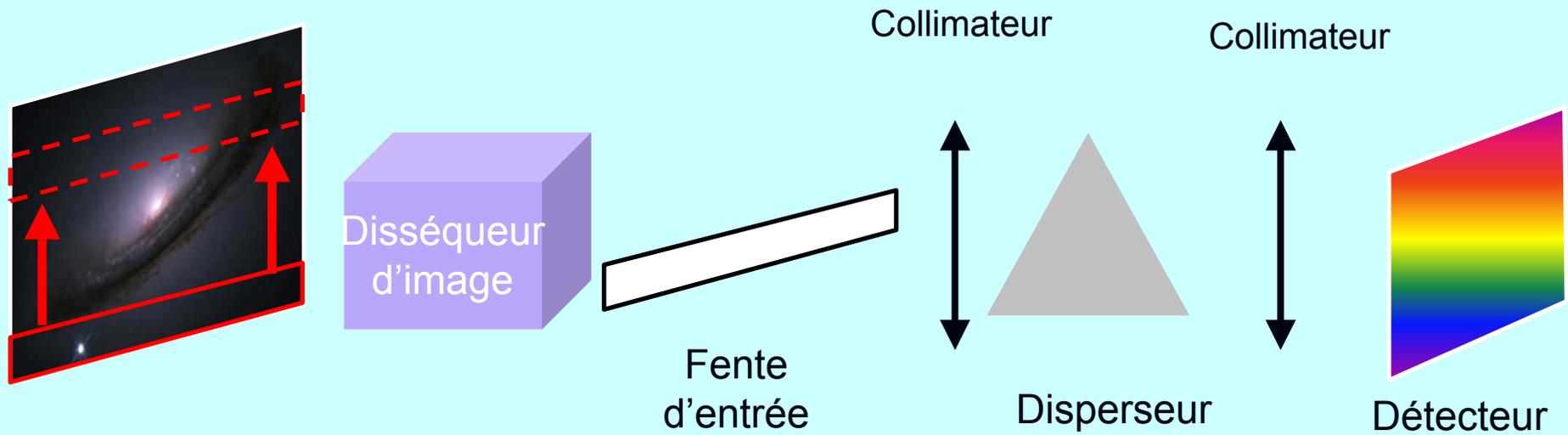
→ Résoudre l'objet spectralement et spatialement



Spectrographe à intégrale de champ



Spectrographe classique



Résoudre une image avec un spectrographe classique exige une stabilité de pointage très précise



Difficile à réaliser dans l'espace

Solution Innovante apportée par le Spectrographe à Intégrale de Champ

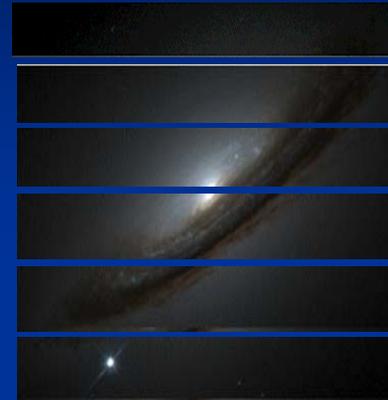
➔ Disséqueur d'Image

Le disséqueur d'image

Le Principe



Découpe l'image en
N tranches

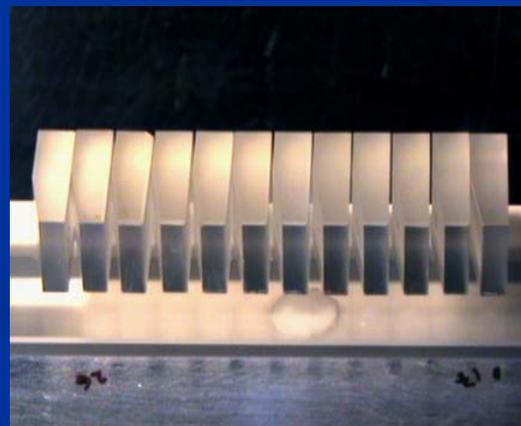


Réarrange les N
tranches sur
une ligne à
l'entrée du
spectrographe



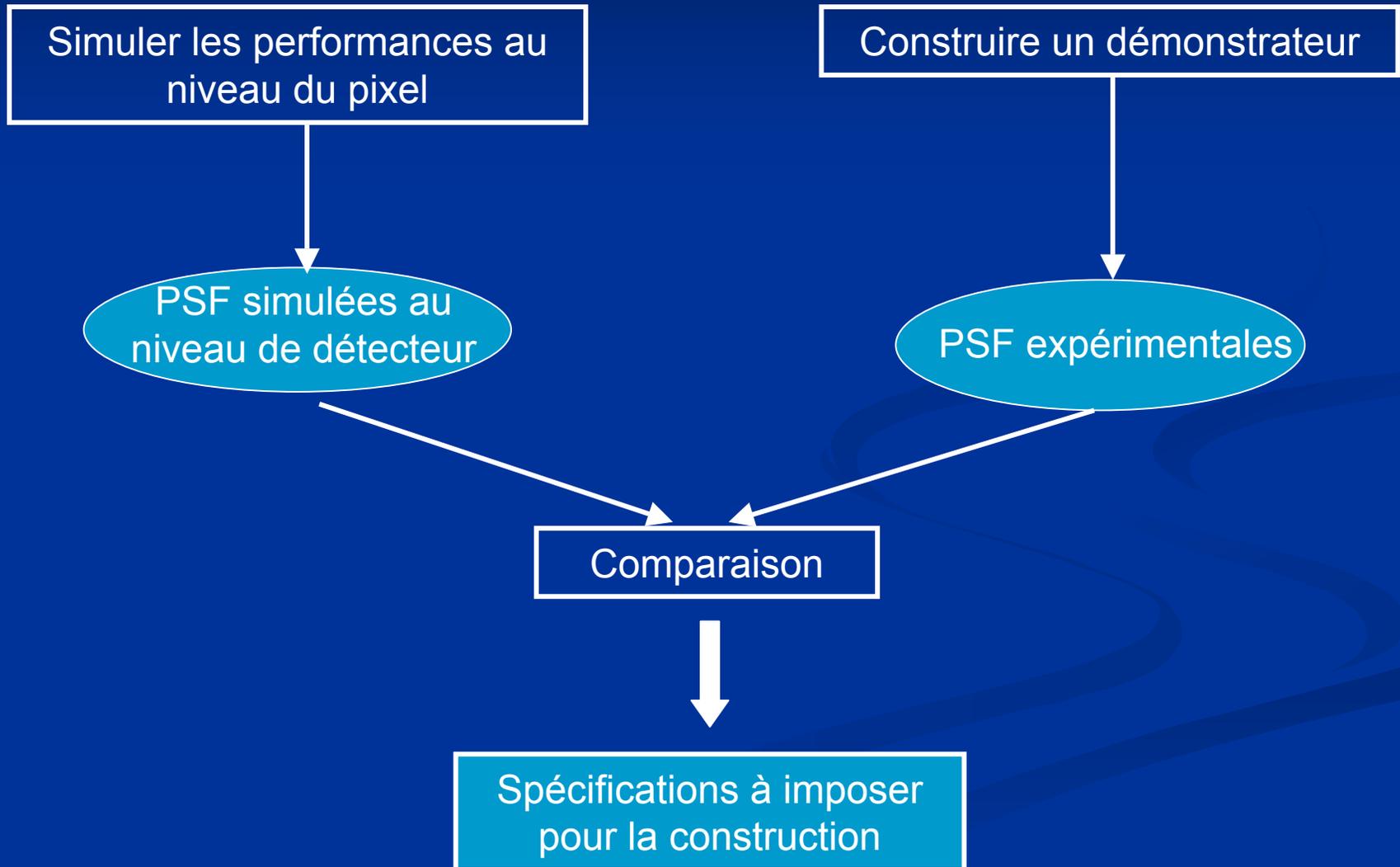
La Technologie

SLICER



Etude des performances du spectrographe

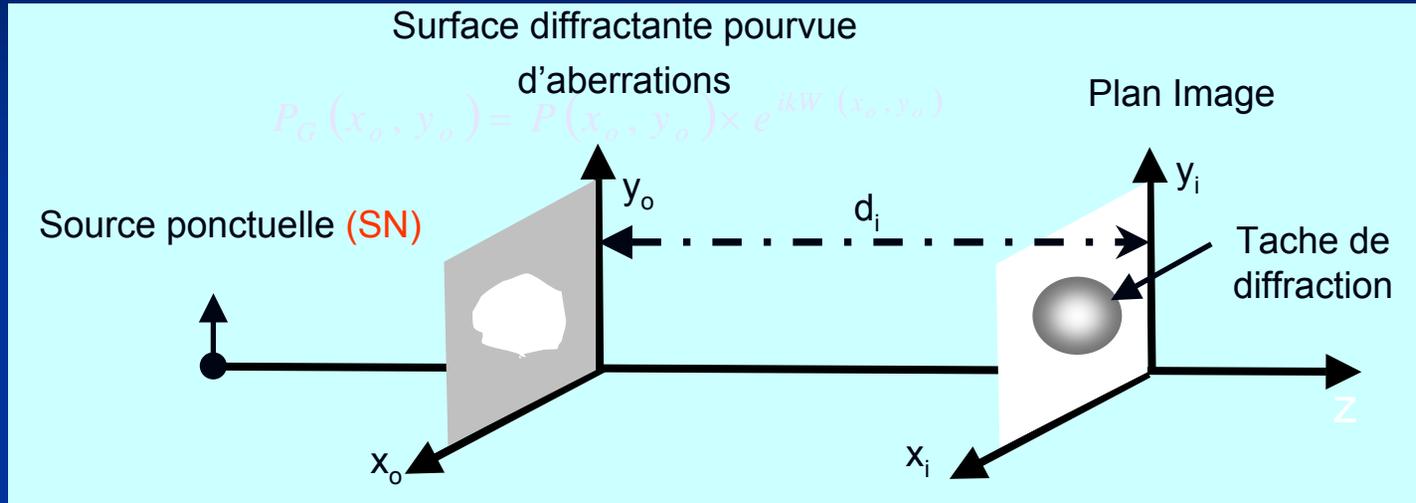
PSF: réponse de l'instrument quand on place en entrée une source ponctuelle monochromatique



1. Contexte scientifique
2. Le spectrographe
3. Etude des performances
 - 3.1- La simulation
 - 3.2- Le démonstrateur
4. Conclusions - Perspectives

Principe de la simulation

Calcul de la **PSF** (Point Spread Function): Intensité dans le plan image d'un système optique diffractant lorsqu'on place en entrée une source ponctuelle (dirac)



Calcul des effets de diffraction

Optique de Fourier

Amplitude du Champ Objet

$$U_o(x_o, y_o)$$



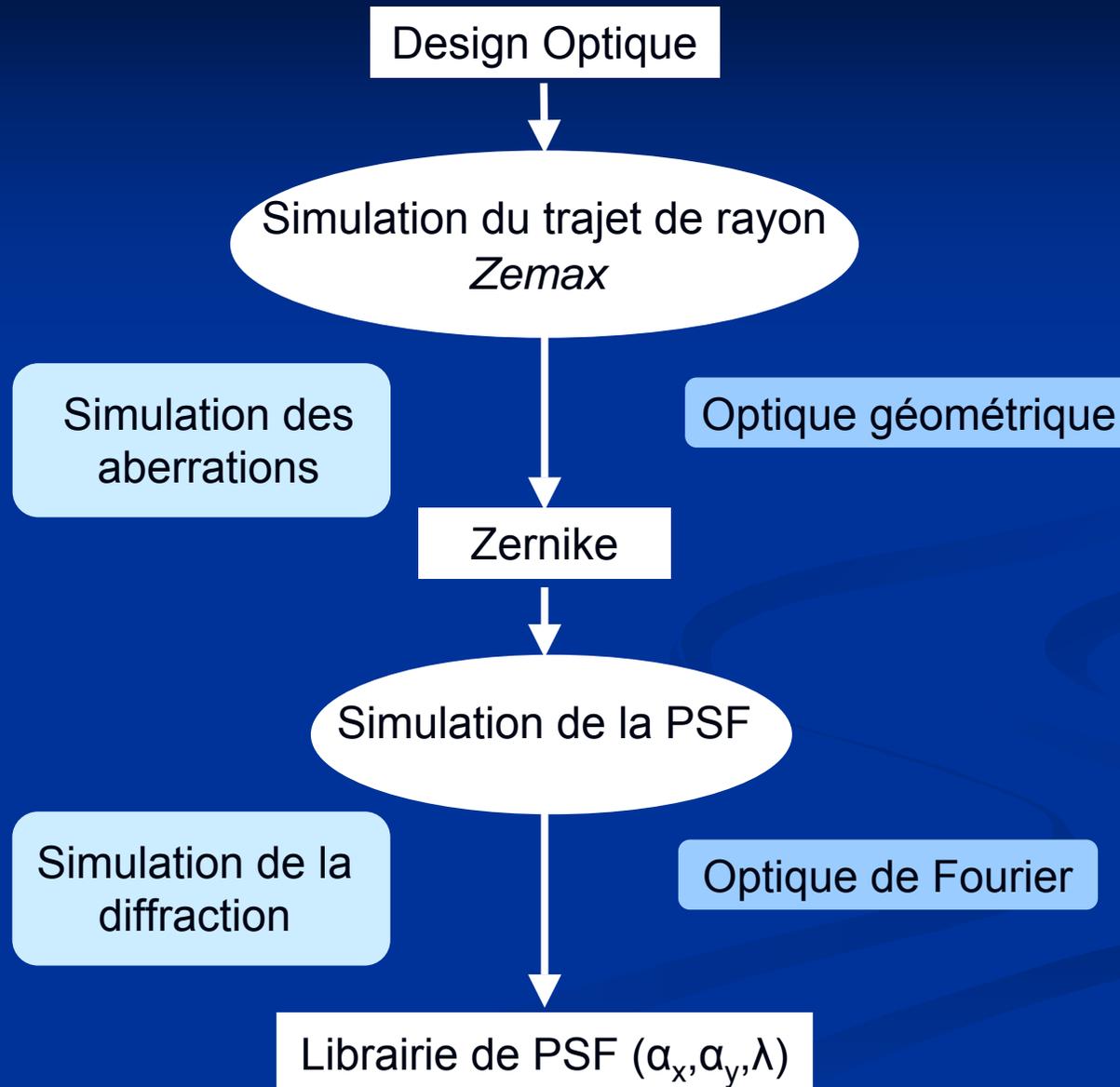
Amplitude dans le plan Image

$$U_i(x_i, y_i) \propto \frac{1}{\lambda d_i} \times TF \{ U_o(x_o, y_o) \times P_G(x_o, y_o) \}$$

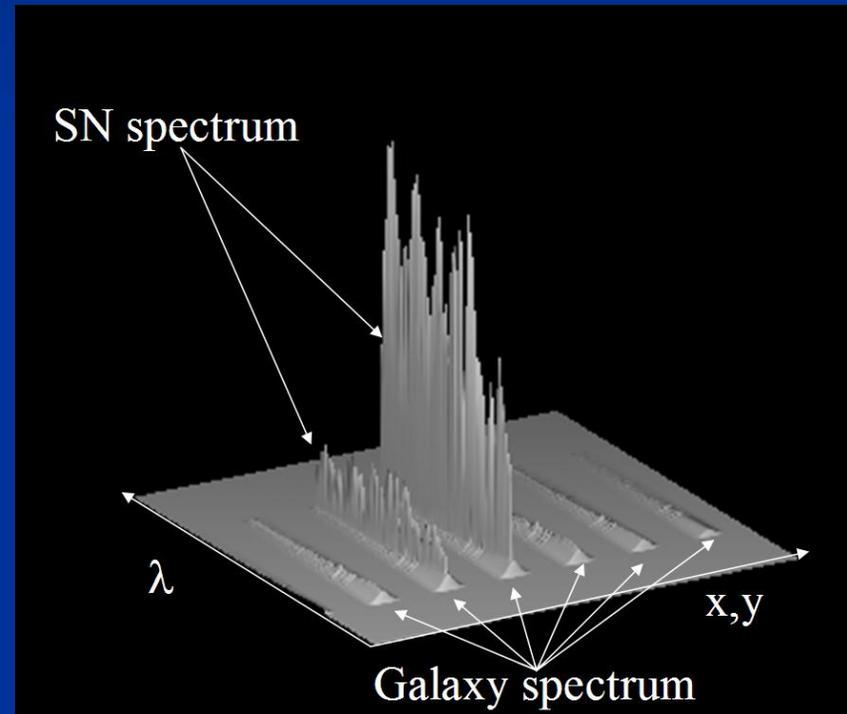
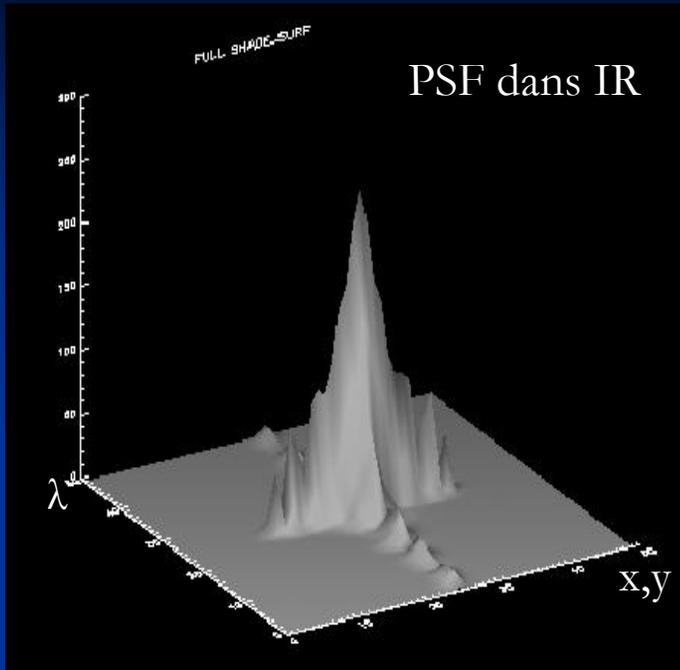
Modélisation des aberrations

Optique géométrique

Déroulement de la simulation



Résultats



1. Contexte scientifique
2. Le spectrographe
3. Etude des performances
 - 3.1- La simulation
 - 3.2- Le démonstrateur
4. Conclusions - Perspectives

Objectifs du démonstrateur

Tester les performances optiques de l'instrument dans le visible (à température ambiante) et dans l'IR à froid

Mesurer la PSF (forme, taille, position) dans des différentes conditions (diffractions, aberrations, diffusion (straylight), distorsions)

Tester la faisabilité de la calibration au %

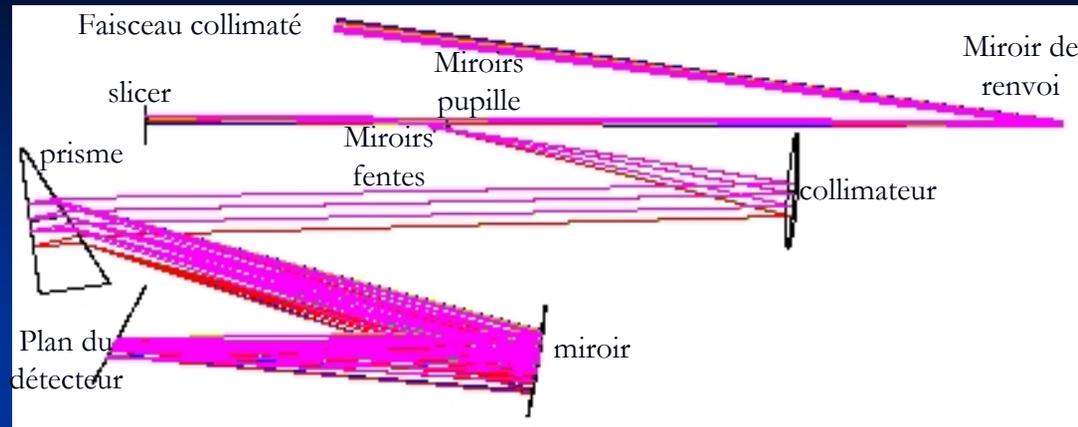
Mettre en place des procédures de calibration

Ajuster la simulation par comparaison des PSF simulées et expérimentales

Etat d'avancement

Définition du design optique

E.Prieto / C.Macaire (LAM)



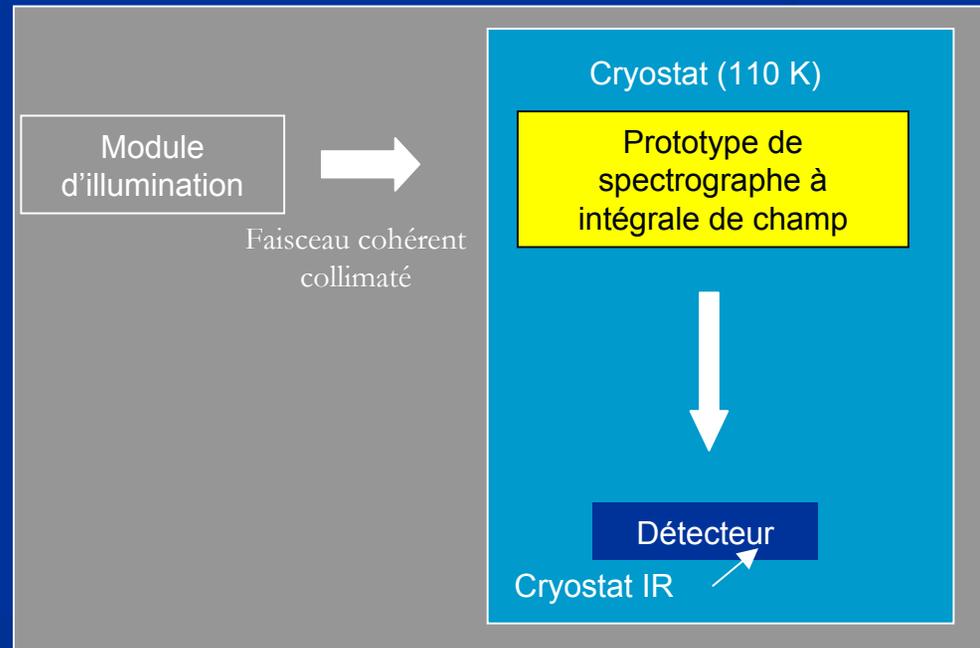
Définition des contraintes mécaniques

→ descente en froid : cryostat

Mécanique: P.Karst (CPPM)

Cryostat : PE Blanc (LAM)

Détecteur IR (Rockwell pixels): IPNL Lyon



Définition des procédures de tests

Développement des outils d'acquisition de mesure et d'analyse

C.Cerna (CPPM)

MH Aumeunier



Première étape : PROTO-0

Proto-0

Prototype d'imageur slicer: Première étape avant le démonstrateur

Tester l'imageur slicer
(pas de spectromètre)
avec un prototype déjà
existant

Mesure de PSF
uniquement dans le
visible

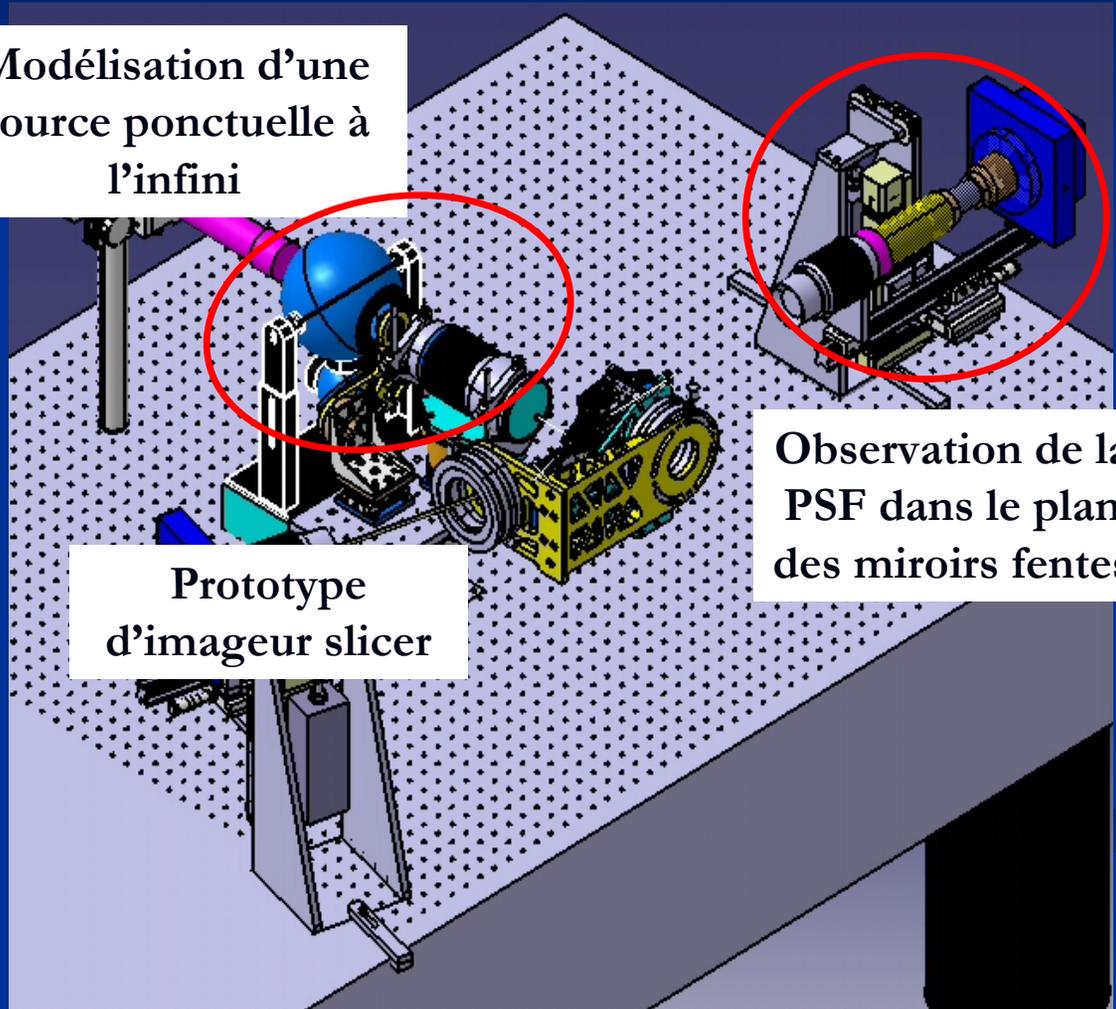
Réalisation finie

Début des tests
maintenant

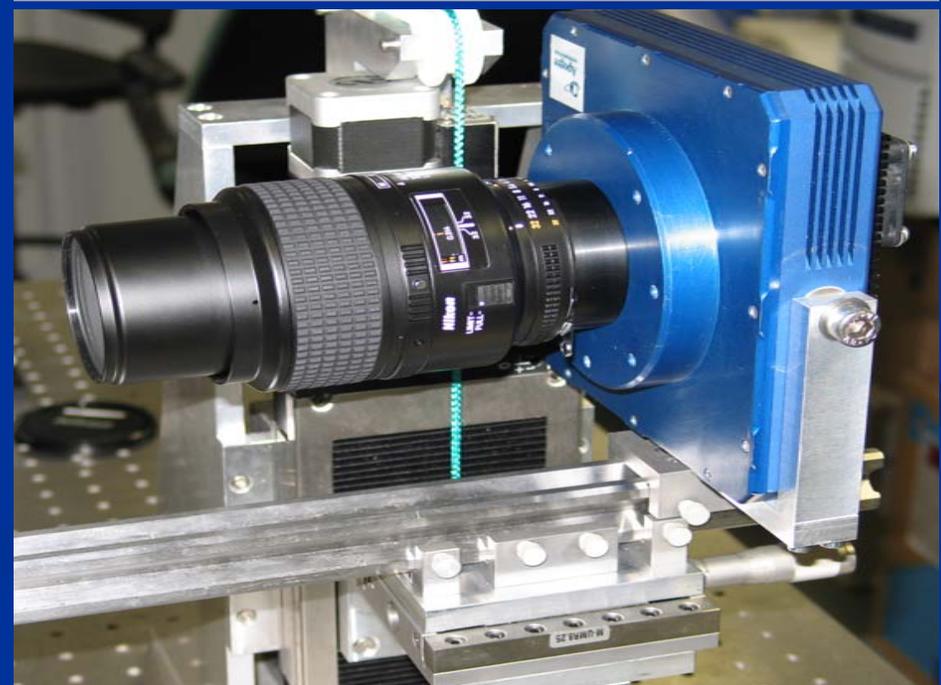
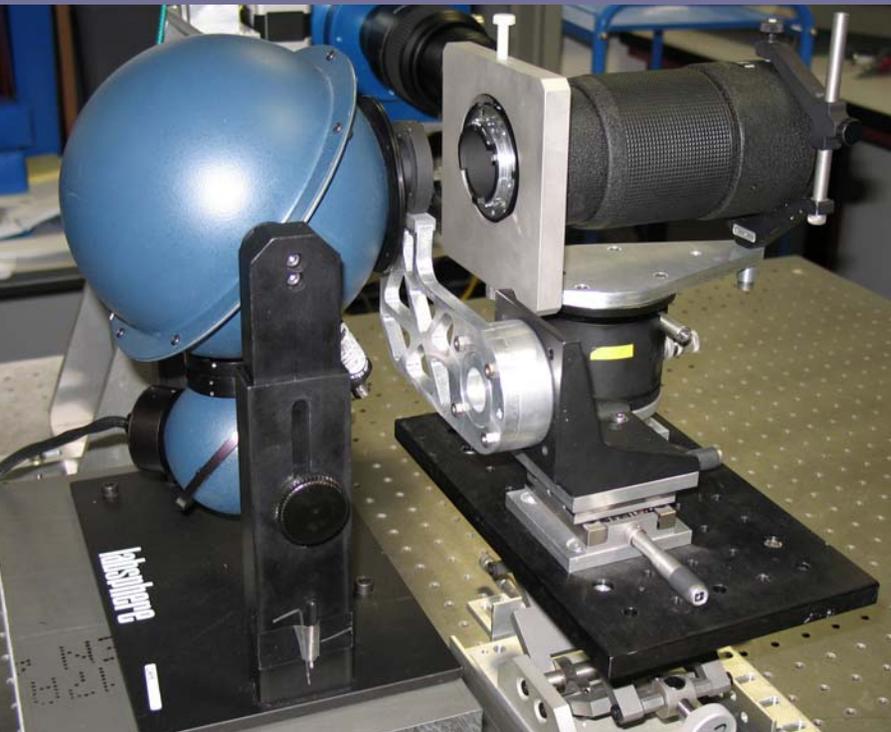
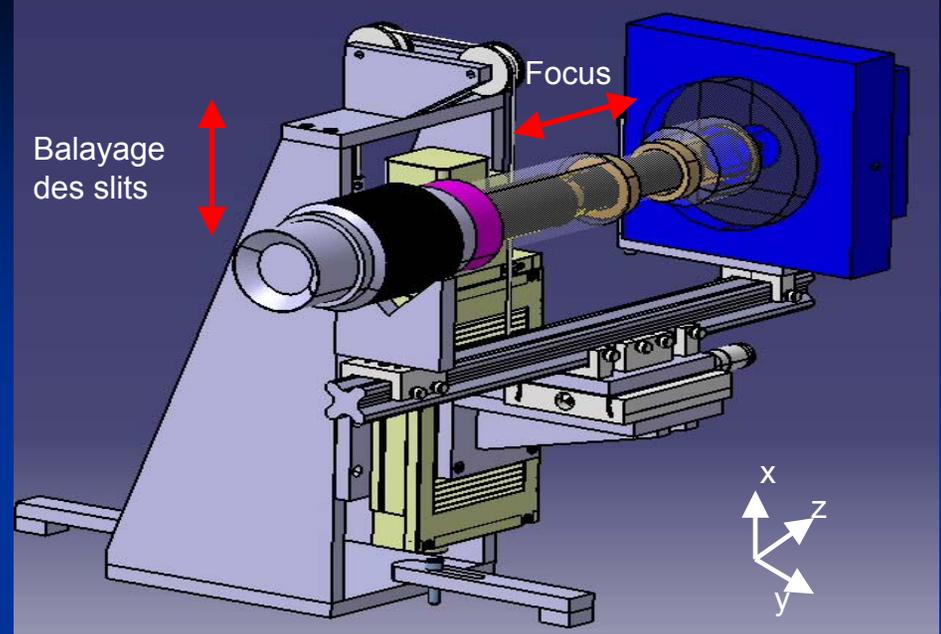
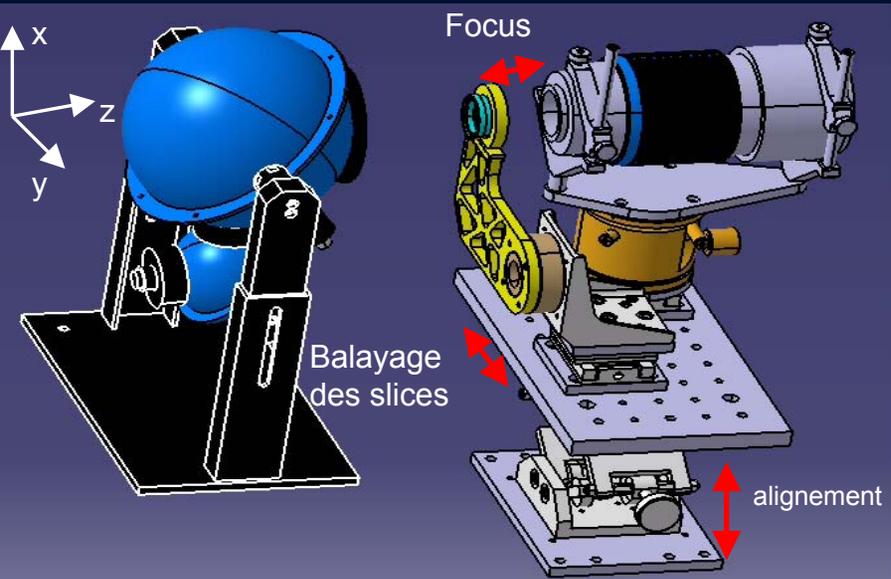
Modélisation d'une
source ponctuelle à
l'infini

Observation de la
PSF dans le plan
des miroirs fentes

Prototype
d'imageur slicer



Proto-0



Conclusion - Perspectives

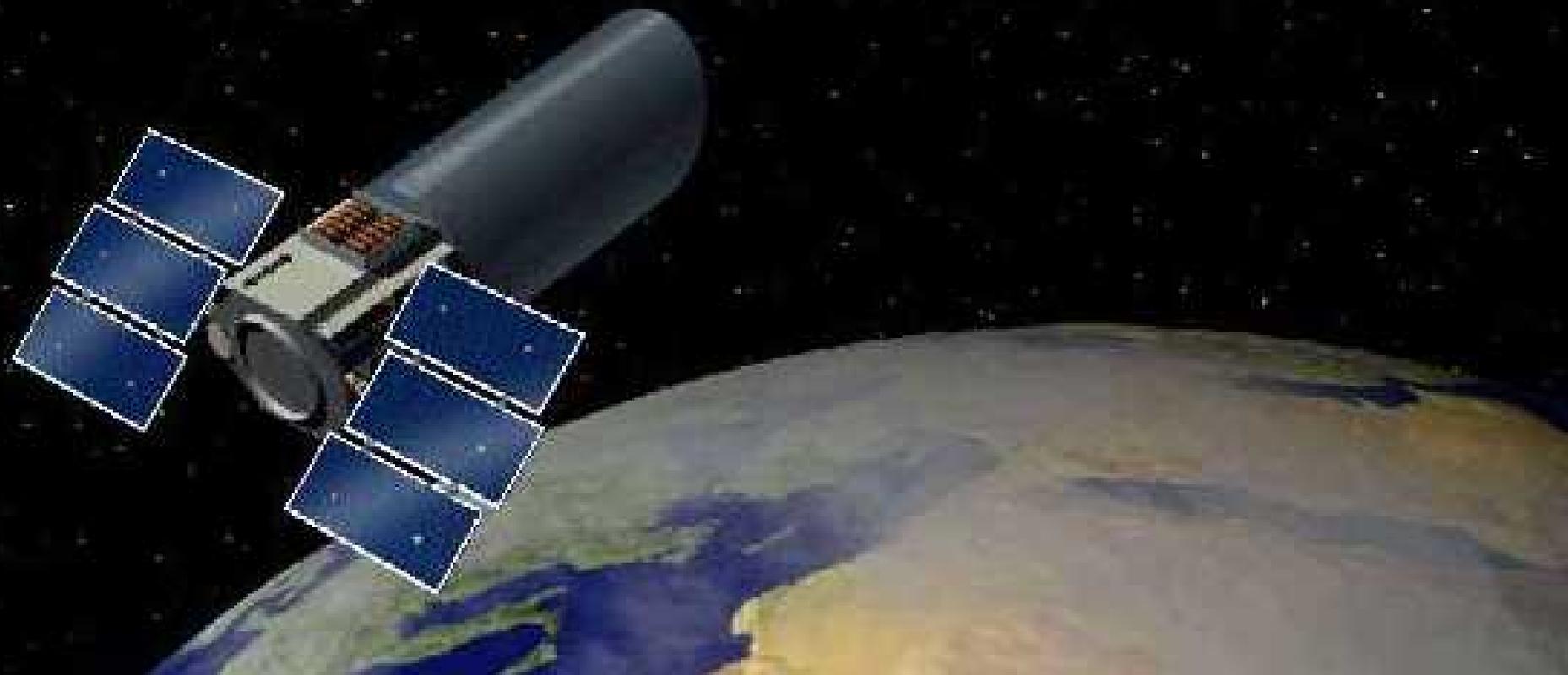
Eté 2005 : Premiers résultats obtenus avec le Proto0

→ Expertise acquise pour le démonstrateur

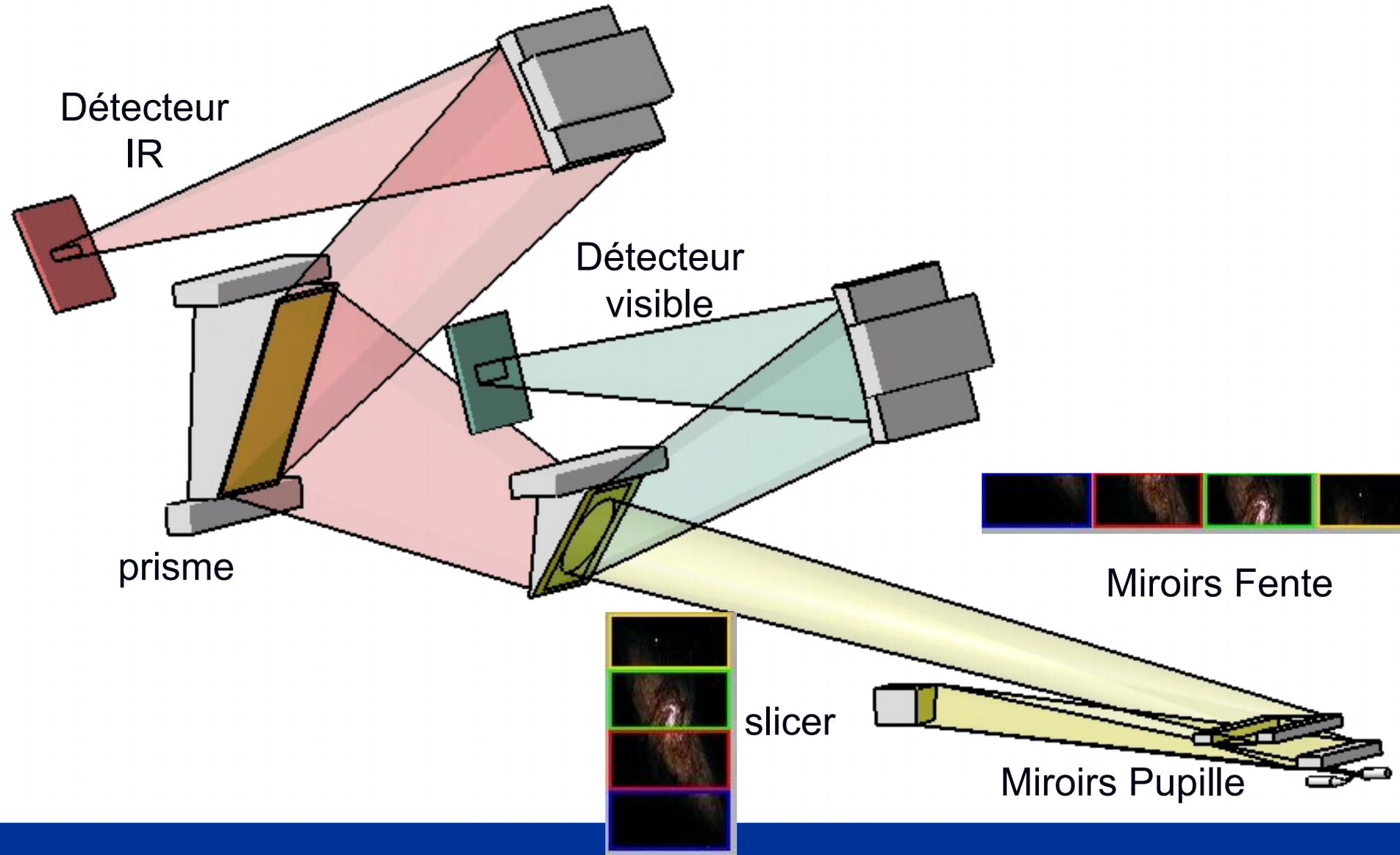
Automne 2005: Construction du démonstrateur

Début 2006: début des tests avec le démonstrateur

Supernova / Acceleration Probe
Studying the Dark Energy of the Universe

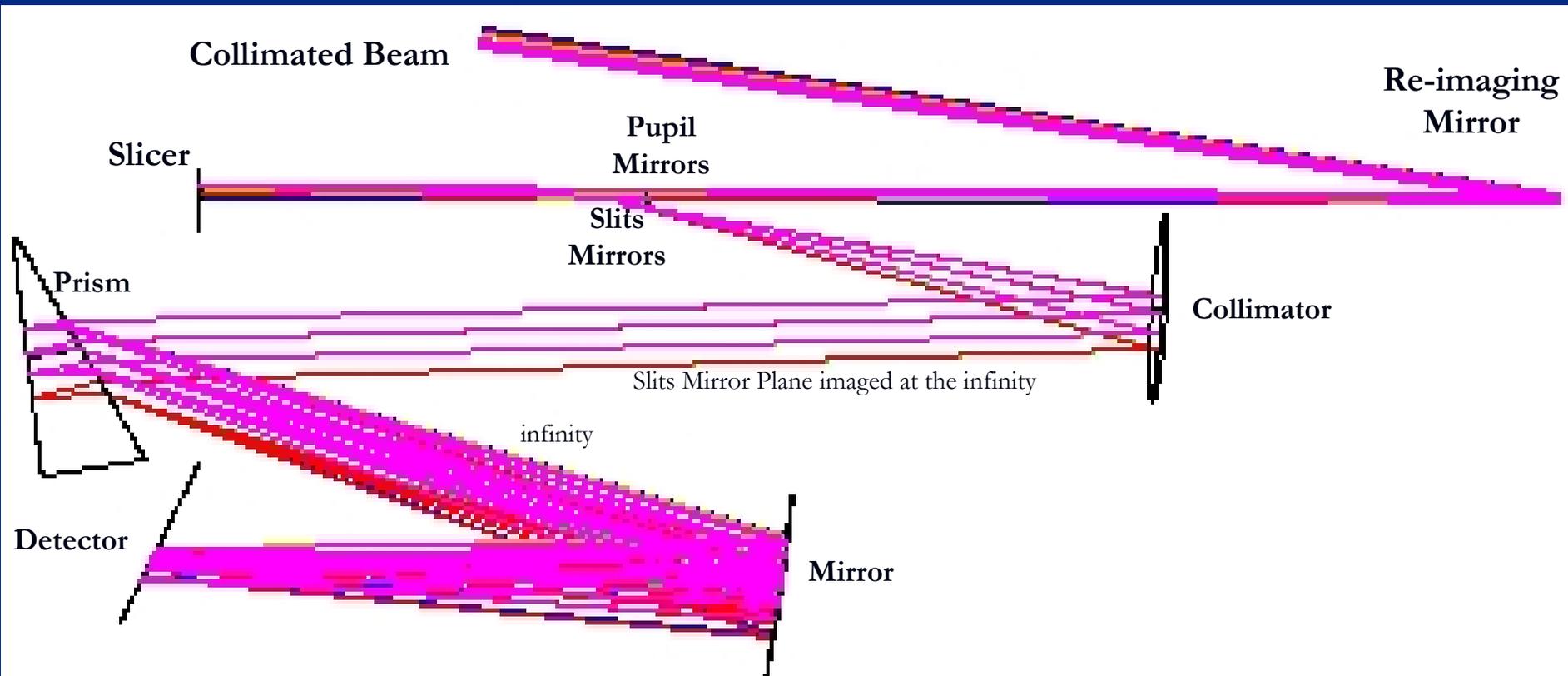


Design Optique

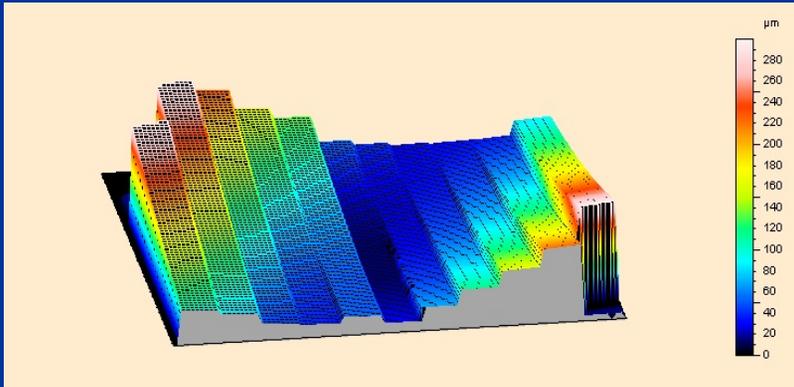
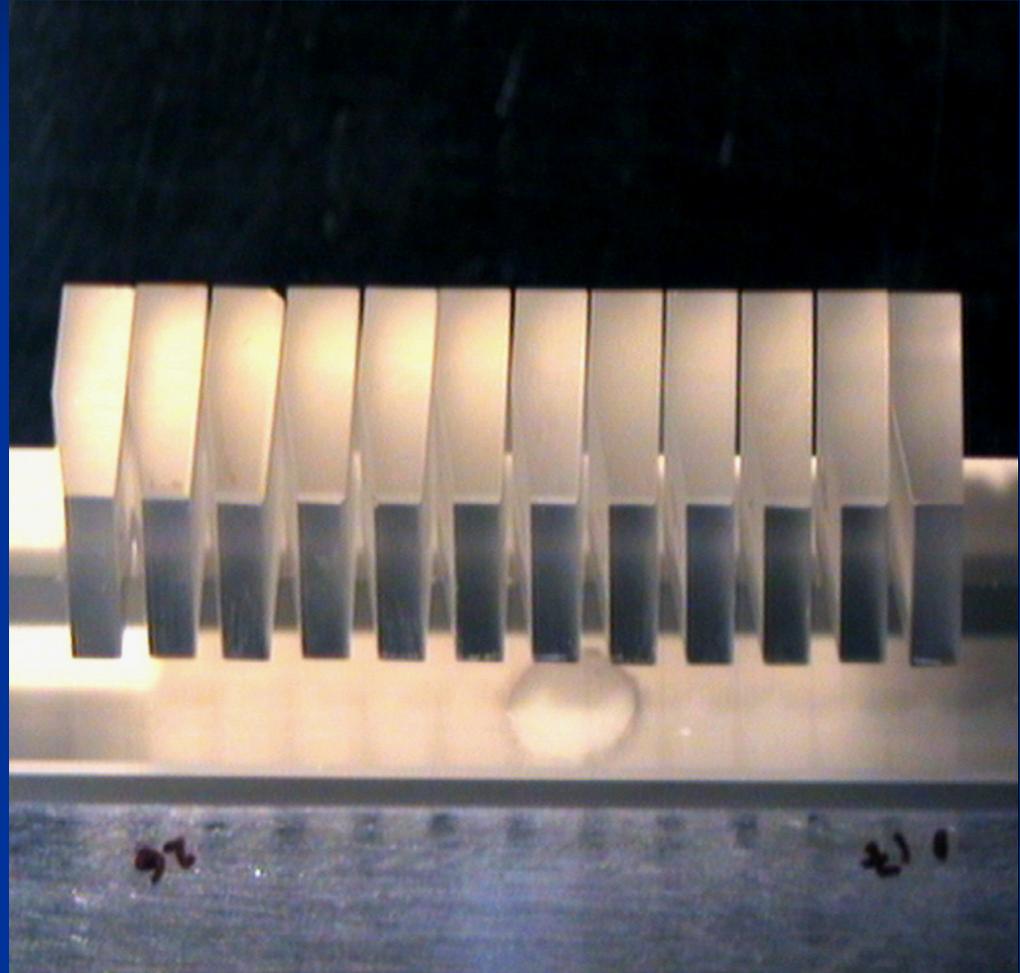
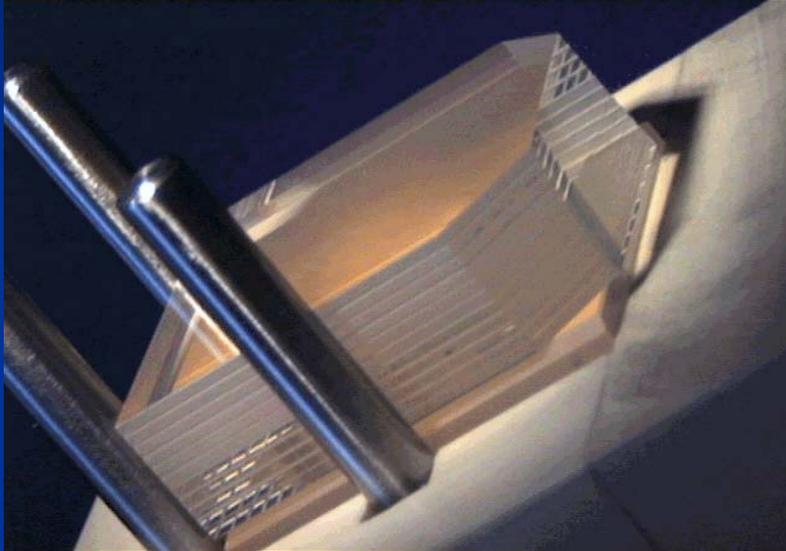


Design Optique

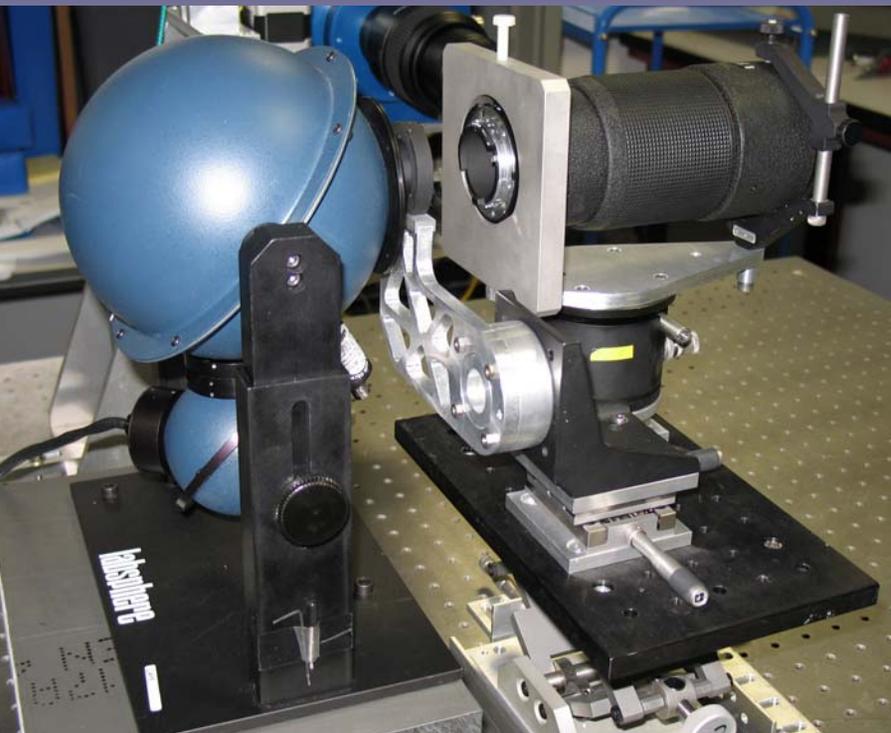
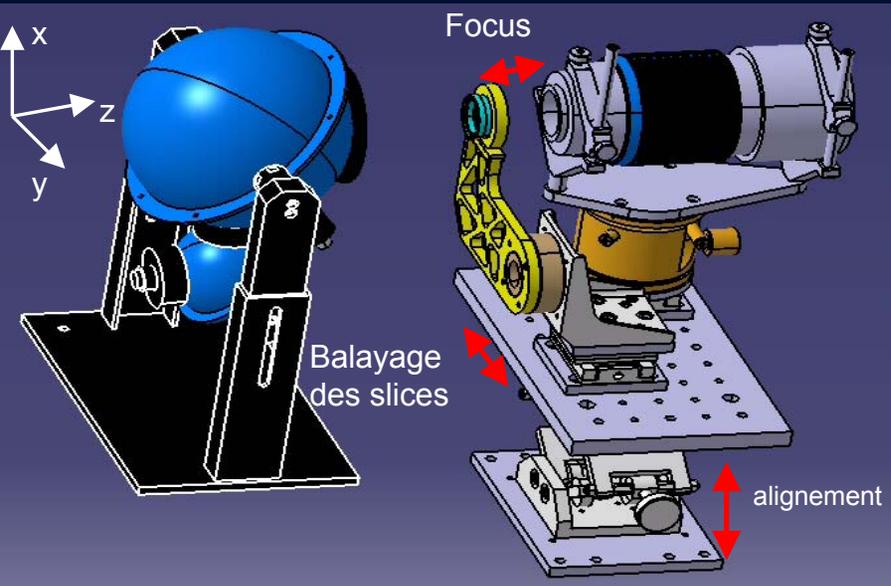
Finalisation du design optique



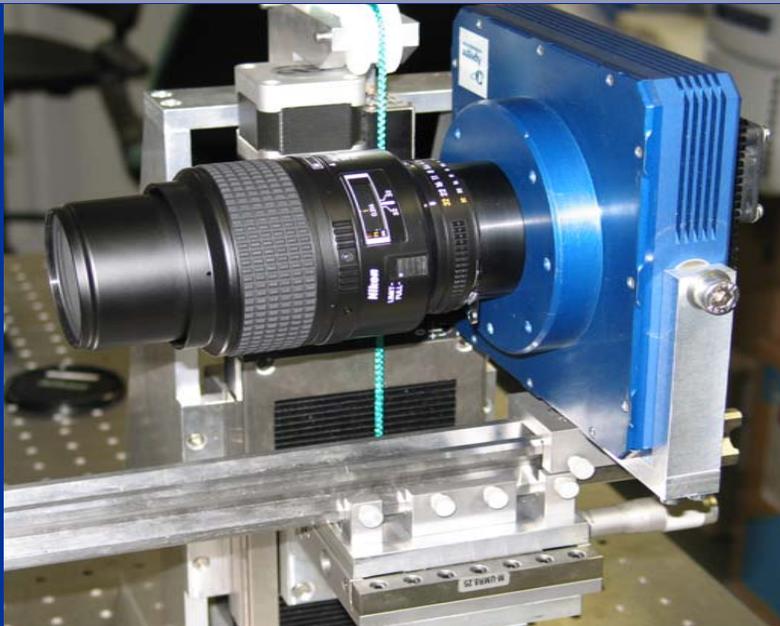
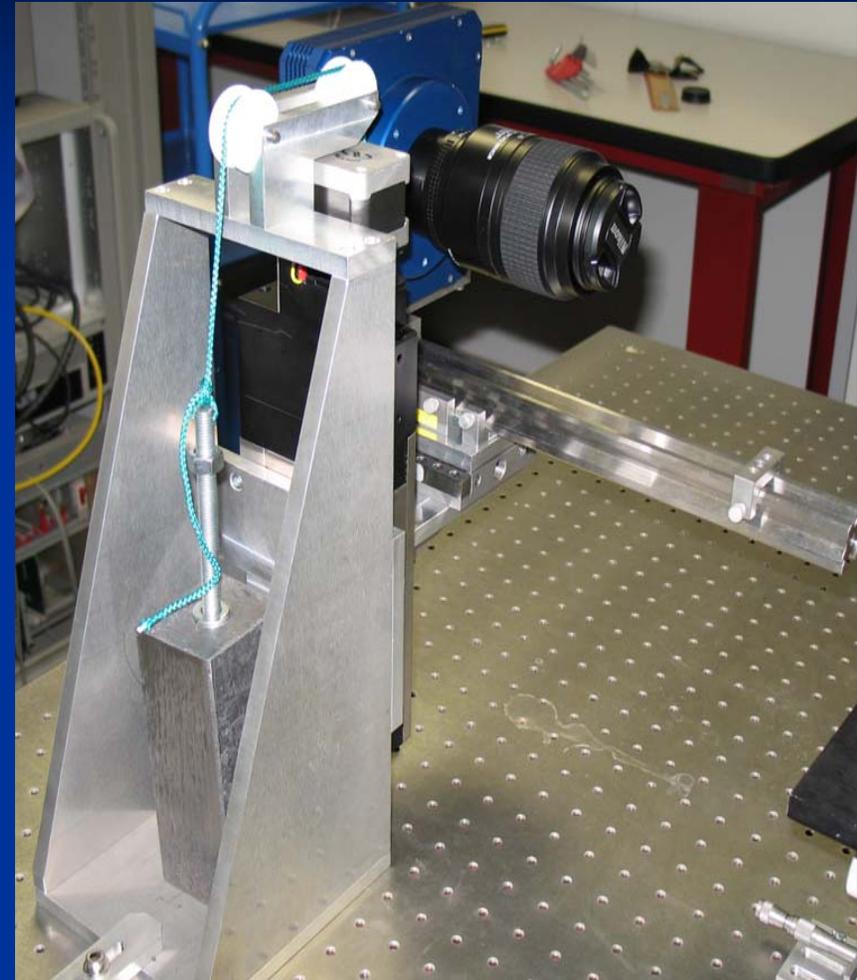
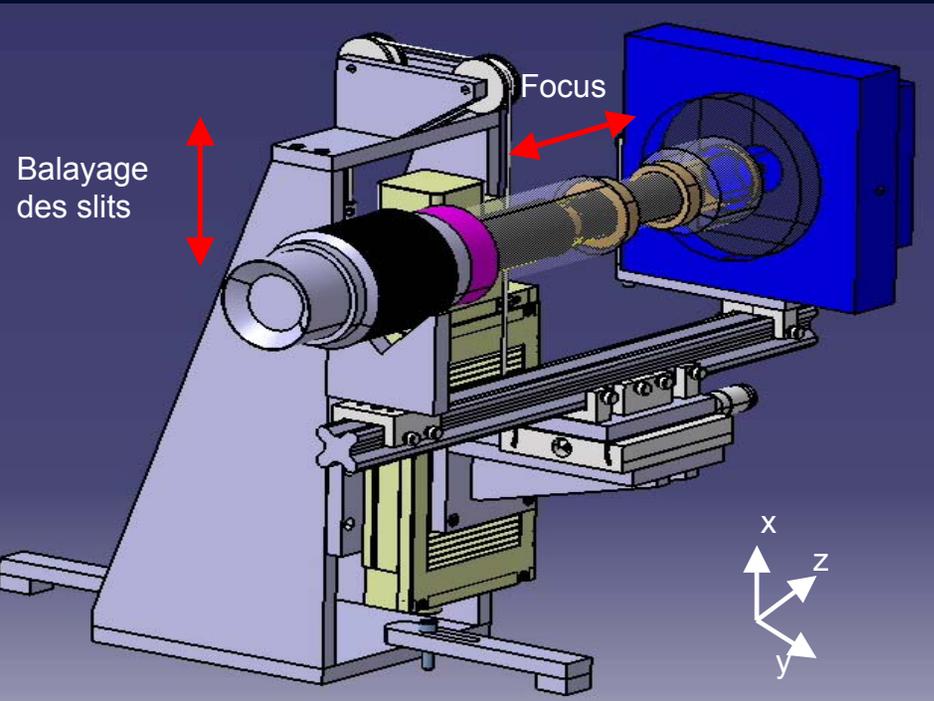
Le slicer



Module d'illumination



Module de détection



Zernike

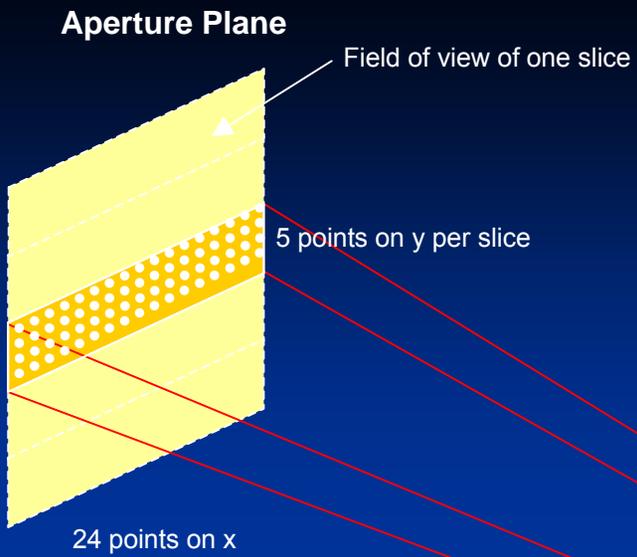
Pour un nombre fini de points du plan objet(x_0, y_0), Zemax calcule la position du centre de la PSF et les coefficients de Zernike dans chaque plan image:

- Slicer

$$\left(x_i, y_i\right)_{slice} \quad Z_{tel}(x_0, y_0, \lambda; \rho, \theta) = \sum_{i=1}^{28} a_{tel,i}(x_0, y_0, \lambda) \times Z_i(\rho, \theta)$$

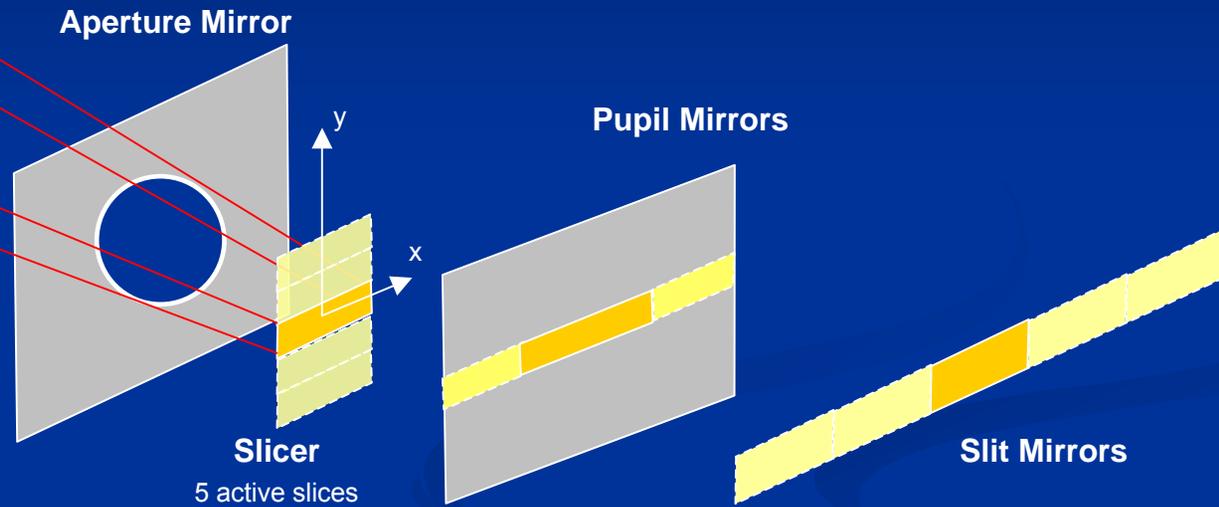
- Miroirs fentes

$$\left(x_i, y_i\right)_{slit} \quad Z_{pup}(x_0, y_0; \lambda, \rho, \theta) = \sum_{i=1}^{28} a_{pup,i}(x_0, y_0; \lambda) \times Z_i(\rho, \theta)$$



Pour un nombre fini de points du plan objet (x_0, y_0) , Zemax calcule la position du centre de la PSF et les coefficients de Zernike dans chaque plan image

Image Plane
 Pupil Plane



Coordonnées angulaires ou cartésiennes de la source ponctuelle dans la plan objet
 (x_0, y_0)

$$\begin{aligned}
 & (x_i, y_i)_{slice} \\
 & \{a_{tel,i}(x_0, y_0, \lambda)\}_{1 \leq i \leq 28}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (x_i, y_i)_{slit} \\
 & \{a_{pup,i}(x_0, y_0, \lambda)\}_{1 \leq i \leq 28}
 \end{aligned}$$

$$Z_{tel}(x_0, y_0, \lambda; \rho, \theta) = \sum_{i=1}^{28} a_{tel,i}(x_0, y_0, \lambda) \times Z_i(\rho, \theta) \quad Z_{pup}(x_0, y_0; \lambda, \rho, \theta) = \sum_{i=1}^{28} a_{pup,i}(x_0, y_0; \lambda) \times Z_i(\rho, \theta)$$

→ Grille de points décrivant le plan objet : 600 points (24 points suivant x et 5 points suivant y par slice)