

ANR COMPASS

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM)

Brice Le Roux

Benoit Epinat



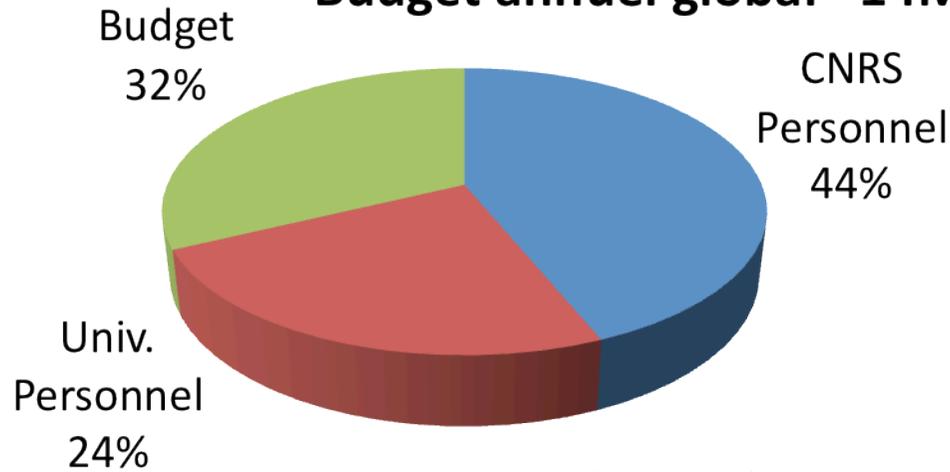
Le Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

- **Laboratoire Mixte** Université Aix-Marseille et CNRS-INSU
- **Science:** du système solaire à la cosmologie et optique avancée
- **Instrumentation:**
 - L'un des “laboratoires spatiaux” en France,
 - Expertise dans le développement d'instruments pour télescope au sol
- **Nombre de personnels: 185**
 - Personnels permanents: 52 chercheurs, 68 techniciens et administratifs
 - Sous contrats: 29 thésitifs, 16 post-docs, 19 techniciens et administratifs
- **Budgets :** Operations and projets : ~5M€
Manpower : ~9M€
- **Organisation**
 - Département Scientifique : 8 équipes scientifiques
 - Département Instrumentation : 6 équipes techniques, moyens techniques
 - Centre de données CESAM
 - Administration

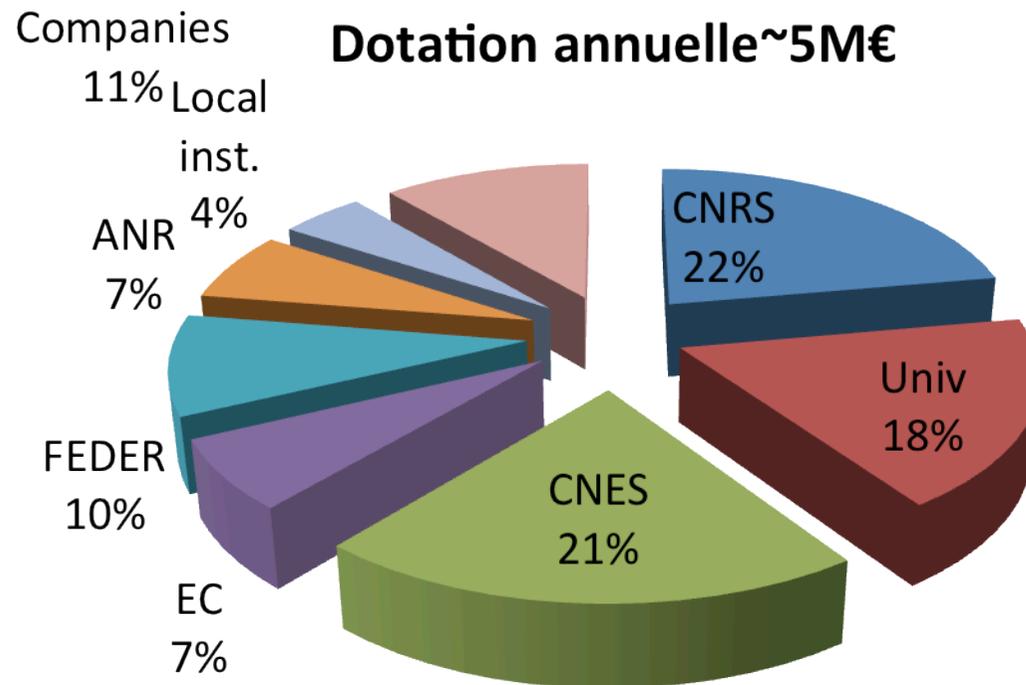


Budget

Budget annuel global ~14M€



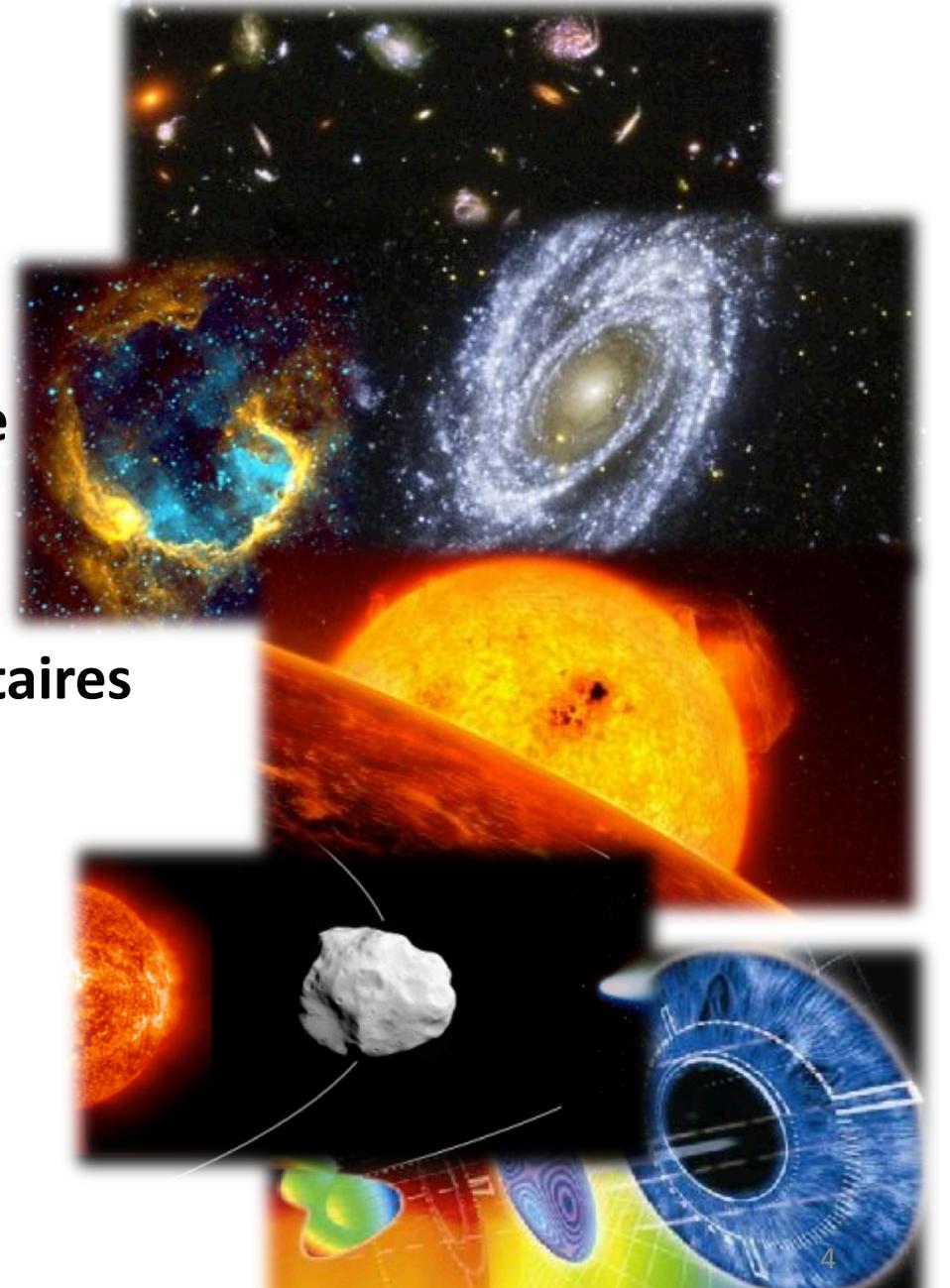
Dotation annuelle ~5M€





Domaines scientifiques

- **Thème I: Cosmologie**
Formation et évolution
des galaxies, formation stellaire
(74% des chercheurs)
- **Thème II:**
Formation des systèmes planétaires
(16% des chercheurs)
- **Thème III:**
Optique et Instrumentation
(10% des chercheurs)





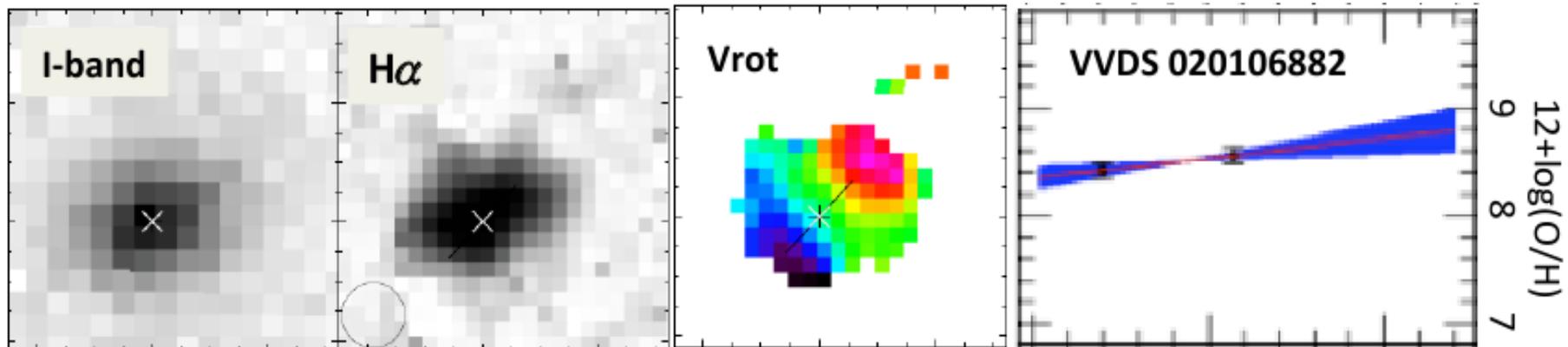
Evolution des galaxies et spectro-3D

Questions scientifiques :

- Origine de la séquence de Hubble ?
- Comment les galaxies accrètent-elles leur gaz ?
 - Fusions ?
 - Accrétion continue de gaz ?

Implication forte dans MASSIV redshift entre 1 et 2

Spectro-3D : Cinématique & Métallicité



Contini et al. (2012), Epinat et al. (2012), Queyrel et al. (2012), Vergani et al. (2012)

+ Simulations numériques RAMSES → cubes de données & interprétation

Perret et al. (in prep)

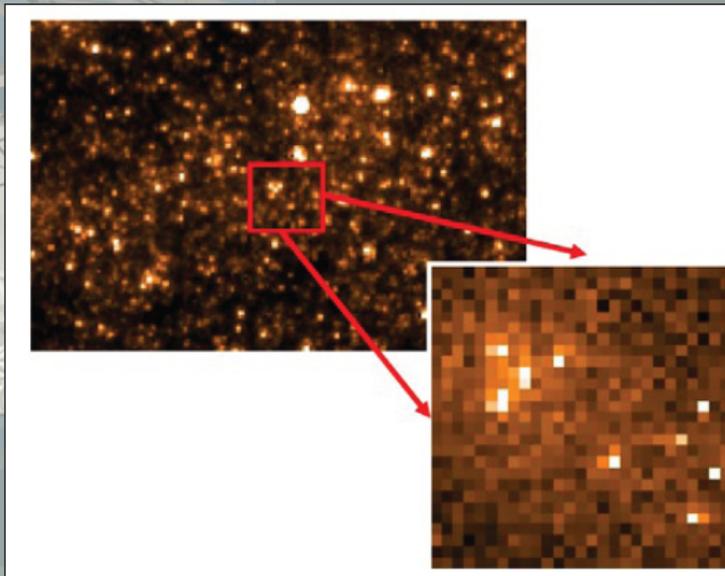
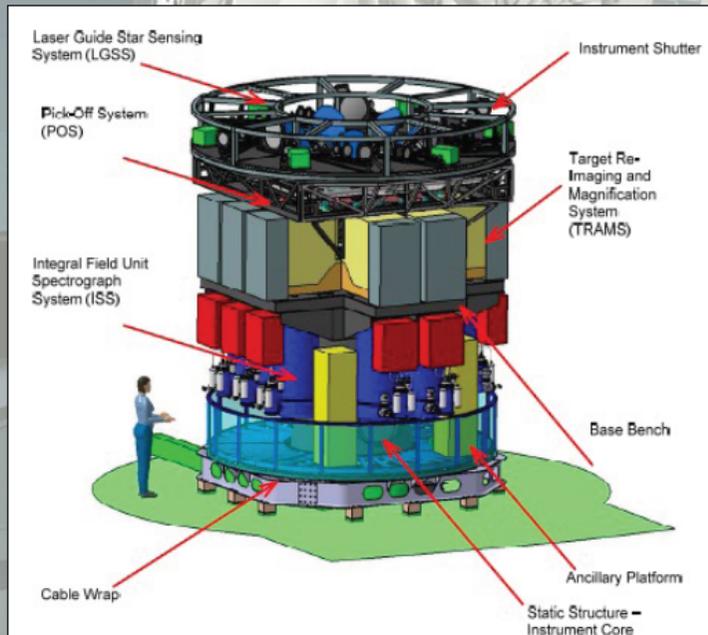


Etudes Instruments E-ELT

EAGLE: Wide-field, multi-IFU, AO-assisted NIR spectrograph



PI: Jean-Gabriel Cuby
Co-PI: Simon Morris
LAM, Uni. Durham, UK ATC, GEPI,
ONERA, LESIA



- Near-infrared:
0.8-2.45 μ m
- Patrol field:
38 arcmin²

- 20-IFU fields:
1.65"x1.65"
- R~4000, 10000
- Multi-Object AO



Etudes Instruments E-ELT

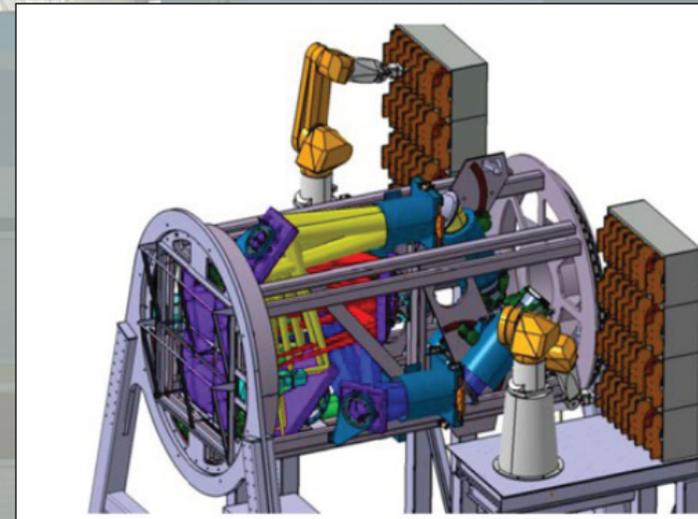
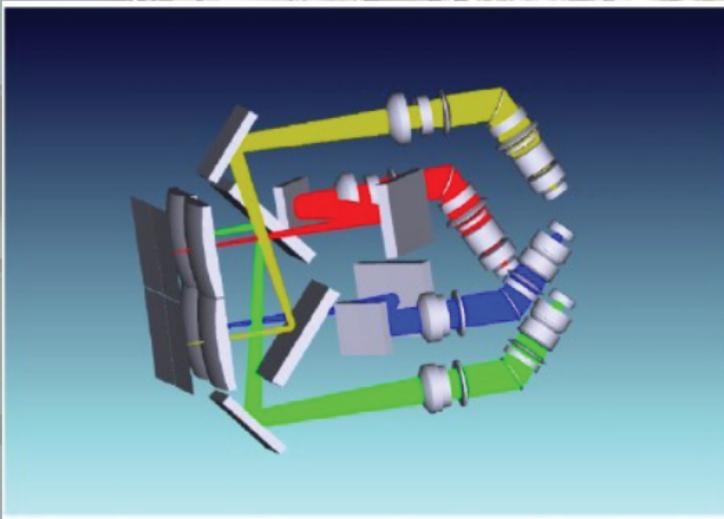
OPTIMOS-DIORAMAS: wide field imaging multi-slit spectrograph



PI: Olivier Le Fèvre

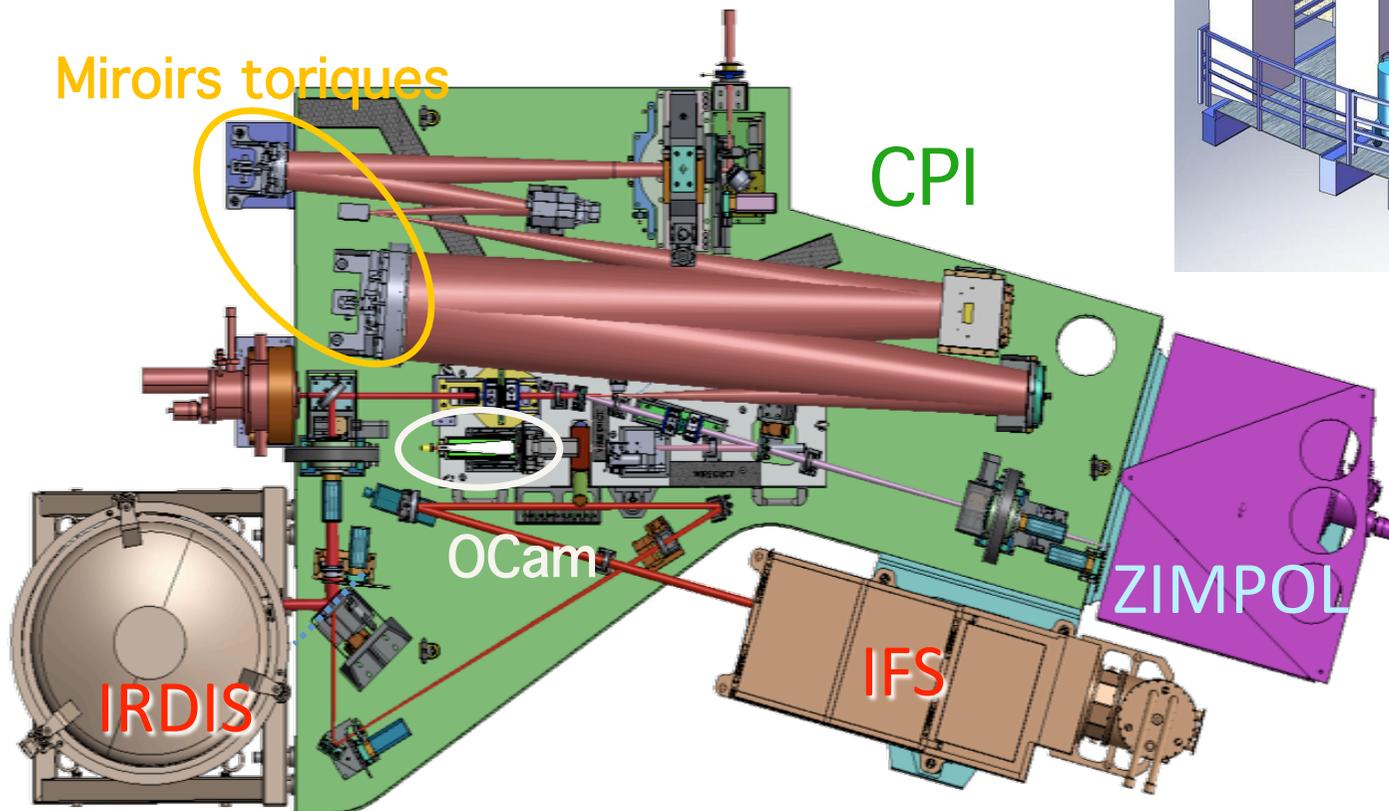
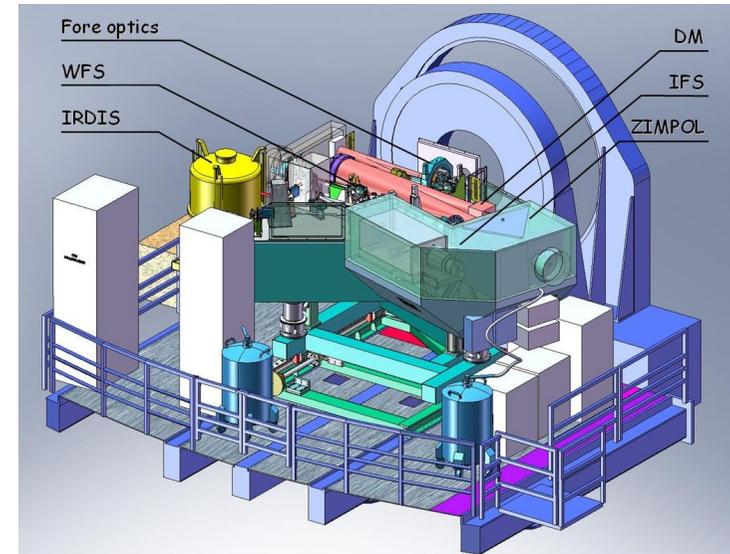
LAM, IASF-Milano, Obs. Haute Provence, HP, Obs. Genève, IAC

- MOS and Imager over 6.8'x6.8' FOV
- Standard visible and NIR filters for imaging
- 480 slits in the visible range, 120 for NIR
- R~300, 1000, 2500 visible; 400,800,3000 for NIR



Instrument VLT SPHERE

SPHERE - LAM responsable de:
Global System Engineering
Instrument IRDIS



Autres deliverables:
OCAM /WFS
Miroirs toriques



Optique avancée pour l'astronomie

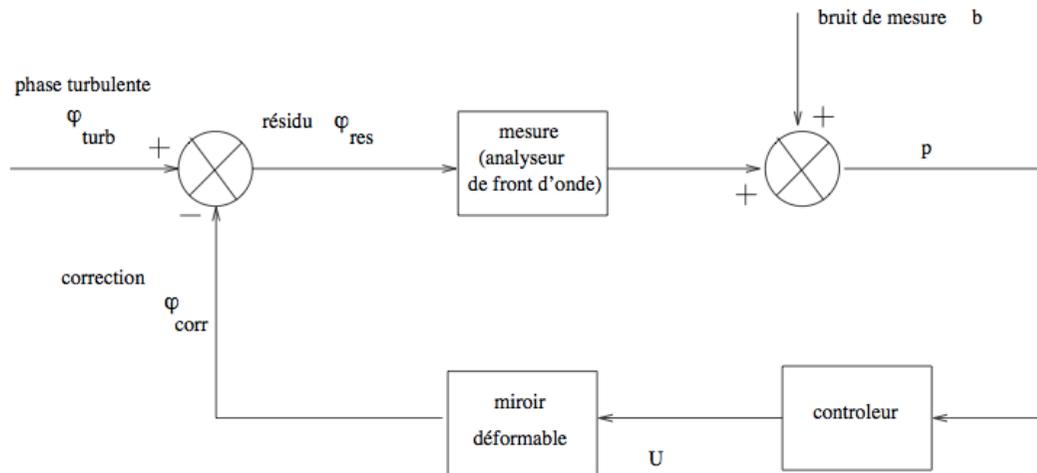
Quarante ans d'expérience en instrumentation et optique active

"Contrôle du front d'onde"

(Télescope, instruments, plan focal)

- Optique active et adaptative
- Techniques de cophasage
- Imagerie Haut contraste, Coronagraphie (masques de phase)
- Design, réalisation et test de grandes surfaces optiques
- MOEMS (fentes prog., spectro, miroir def, etc.)
- Détecteurs (vis., IR, contrôleurs, ..)

Le filtre de Kalman pour l'Optique Adaptative



Dans le cas de l'E-ELT

pour de l'OA grand champ:

- > 10000 actionneurs
- > 30000 points de mesure
- > fréquence de plusieurs KHz

Solution optimale par Filtre de Kalman

$k/k-1$ et $k+1/k$ sont des prédictions

$$\hat{X}_{k+1/k}^{(1)} = A_1 \times \hat{X}_{k/k-1}^{(1)} + A_1 \times H_k \times [Y_k - \hat{Y}_{k/k-1}]$$

Gain de Kalman:

$$H_k = \Sigma_{k/k-1} \times C_1^T \times [C_1 \times \Sigma_{k/k-1} \times C_1^T + \Sigma_w]^{-1}$$

Equation de Ricatti :

$$\Sigma_{k+1/k} = A_1 \times \Sigma_{k/k-1} \times A_1^T - A_1 \times H_k \times C_1 \times \Sigma_{k/k-1} \times A_1^T + \Sigma_v$$

2 solutions :

- Soit calculer Ricatti à chaque itération = **incompatible** avec la fréquence d'un système d'OA
 - Soit faire converger Ricatti « hors ligne » : plusieurs heures voire jours
- = **incompatible** avec la non stationnarité de la turbulence (matrice à ré-évaluer régulièrement !)



Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF)

Une solution efficace en coût de calcul !

basée sur :

- 1) Le calcul d'un ensemble de m éléments

Un élément est une estimation de la phase turbulente sur les actionneurs
→ ces éléments sont **propagés selon le modèle d'état**

- 2) Le calcul empirique de la matrice de covariance de l'erreur d'estimation à partir des m éléments de l'ensemble

→ Permet le **re-calcul du gain de Kalman à chaque étape**

L' ETKF converge théoriquement vers le Filtre de Kalman classique pour m grand !

Temps de calcul ETKF « local »

Cas de l'E-ELT :

Diamètre du télescope = m

Divisé en n_{\max} domaines ($n_{\max} = 162$; $p_{\max} = 242$)

Fréquence de correction $f_{AO} = 500$ Hz

Avec un processeur quadri-cœur ($f = 2.3$ ou 3.2 GHz ; 16 GB de RAM)

$$m = 197 \rightarrow m^3 + m^2 \times (n_{\max} + p_{\max}) = 23.4 \times 10^6 \text{ multiplications}$$

| CALCUL avec un code en C++ | 1 Coeur par domaine | 1 noeud (4 coeurs) par domaine |
|--|------------------------|-----------------------------------|
| Etape de mise à jour (Parallélisation Open MP) | 0.01 sec. | 0.003 sec. |
| Gain nécessaire ($f_{AO} = 500$ Hz) | ≈ 5 | ≈ 1.5 |
| Etape de prédiction (Pas encore parallélisée) | 0.02 sec. | |
| Gain nécessaire ($f_{AO} = 500$ Hz) | ≈ 10 | |

Objectif : diminuer m à performance égale pour diminuer le nombre d'opérations !



Le LAM dans COMPASS

| Personnel | Statut | Rôle | Hommes.mois | Tâches |
|---------------|--------|----------------------|-------------|--------|
| Le Roux B. | MdC | OA | 4 | 1 & 5 |
| Epinat B. | AA | Science | 3 | 2 & 7 |
| Rodionov S. | ing | Calcul parallèle | 7 | 5 |
| Surace C. | ing | Coordination Calcul | 2.5 | 5 |
| Fenouillet T. | ing | Calcul et simulation | 2.5 | 5 |
| Lambert J.C. | ing | GPU | 2.5 | 5 |
| Vibert D. | ing | GPU | 2.5 | 5 |

- 1 an de CDD ANR COMPASS : tâche 5



Le LAM dans COMPASS

- Dans la tâche 1 « project management»: participation au Science working group dans 1.3
 - Coordination des activités scientifiques
- Dans la tâche 2 « Science », implication dans 2.2 Preparatory studies
 - Simulations d'instrument
 - Définition des science requirements



Le LAM dans COMPASS

- Dans la tâche 5 « Real time control », implication dans 5.2 Kalman Filter et 5.5 Supervisor
 - Développement et implémentation de différents algorithmes de filtre de Kalman (Filtre de Kalman classique, filtre de Kalman d'Ensemble, ETKF Local)
- Dans la tâche 7 « ELT Instrumentation design », implication dans 7.2 : ELT-MOS/ELT-IFU
 - Simulations de données IFU pour l'E-ELT



Le LAM dans COMPASS

| | | |
|---|---------------------|----------------------|
| ENGINEER POSITION at LAM | | Position Reference 6 |
| Tasks: 5.2 & 5.5 | 12 Man.Month | Date: T0 to T0+12 |
| Profile of Candidate: Control engineer. The candidates must have simulation skills, a strong background on Kalman filtering and control strategies. Knowledge on parallel computation is optional. | | |
| Objectives of Job: The engineer will work directly with Sergey Rodionov and Brice Le Roux to participate to the validation simulations and implementation of Kalman filtering and other algorithms in task 5.2 and on corresponding supervising strategies in task 5.5 | | |
| Output : Provide optimized GPU implementation code and performance report | | |