

Multi Unit Spectroscopic Explorer

Lyon



Leiden



Zurich



Potsdam



ESO



Toulouse



Göttingen



MUSE

Un explorateur 3D pour le VLT

Collaboration MUSE

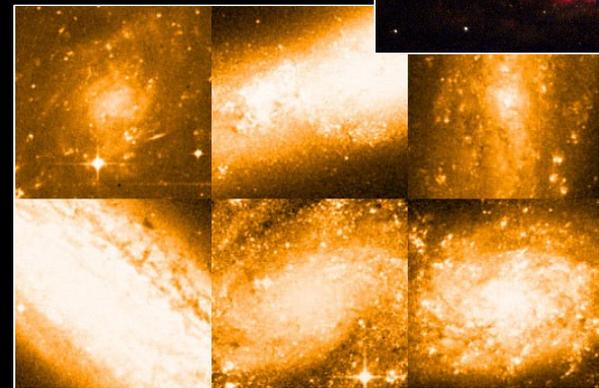
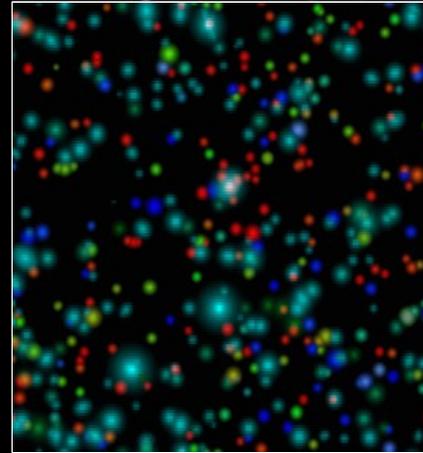
1er Mars 2006, Paris -- Prospective PNG



1er Mars 2006, PNG

- Instrument de 2^{ème} génération pour le VLT
- Thématiques scientifiques prioritaires
 - Formation et évolution des galaxies
 - Galaxies proches
 - Galaxies résolues en étoiles

→ PNG





Caractéristiques

1er Mars 2006, PNG



■ Deux modes

- **WFM**: $1 \times 1 \text{ arcmin}^2$
0.2 arcsec
- **NFM**: $7.5 \times 7.5 \text{ arcsec}^2$
0.025 arcsec
- **0.48-0.93 μm** , R=3000

■ 24 IFU

- Slicer+Spectro+CCD

■ 8 tonnes

■ 50 m³

■ 400 Mpix/pose

■ AO (resp. ESO)

- GLAO
- 4 étoiles laser
- VLT DSM
- NFM: 10% Strehl @ 0.65 μm
- WFM: x2 énergie

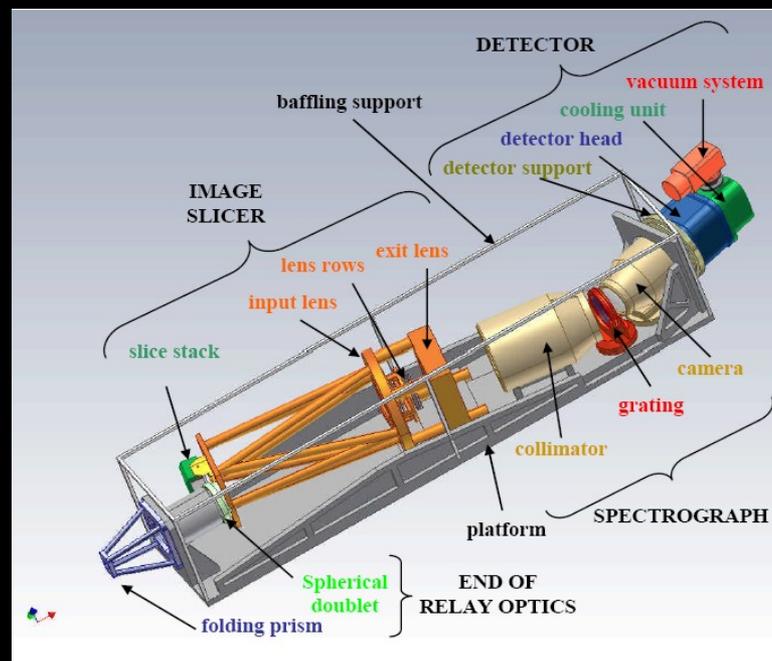
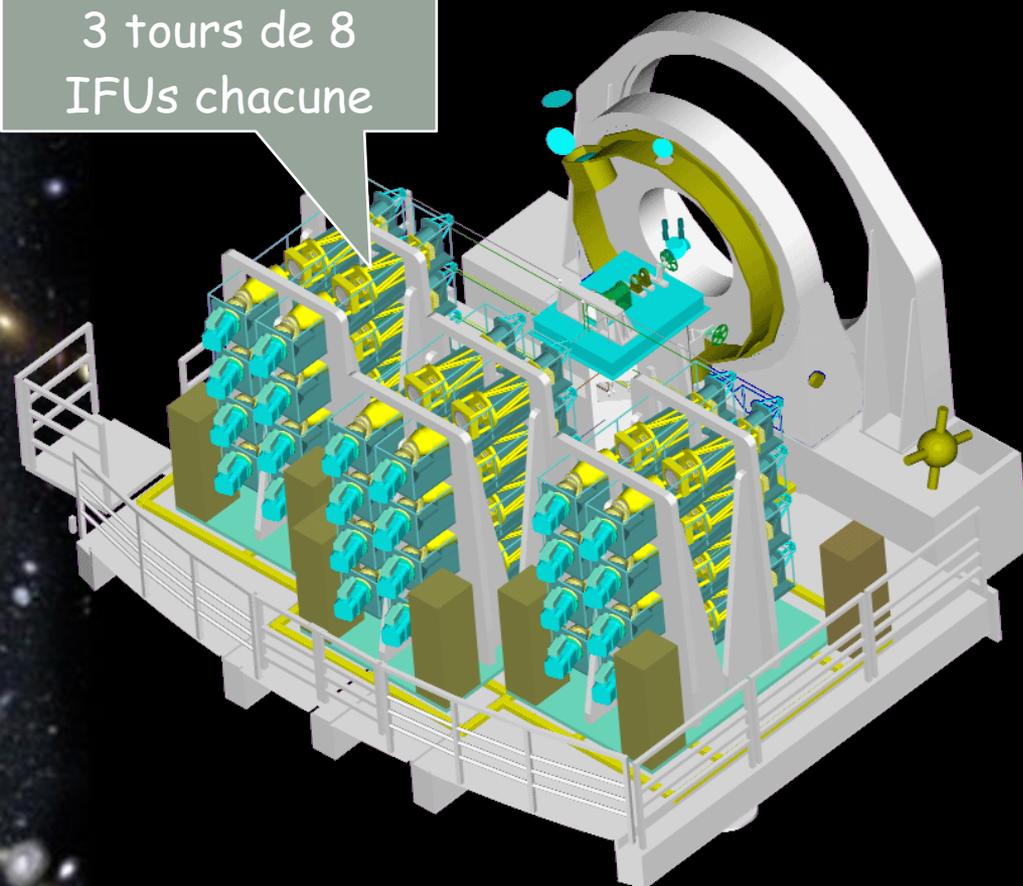
ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

24 IFUs

3 tours de 8 IFUs chacune

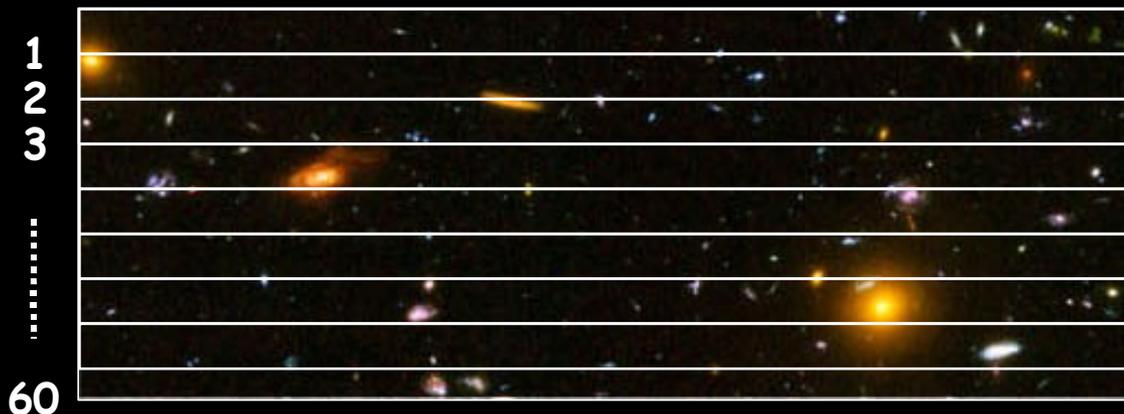
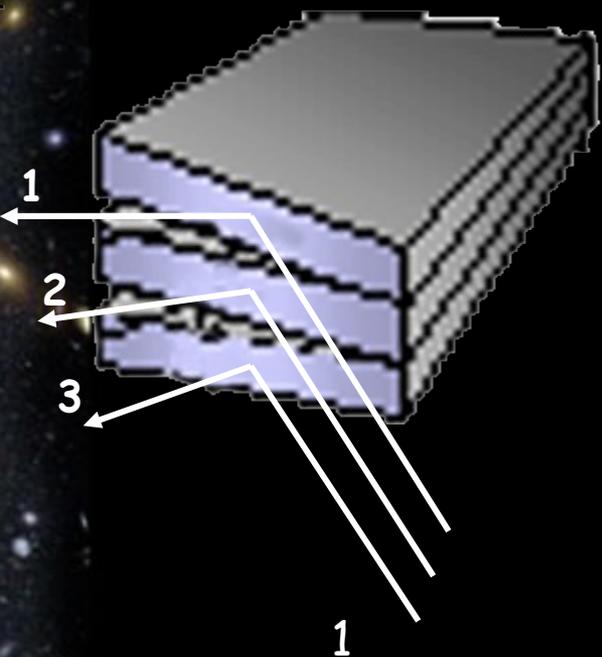


ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

Principe du Slicer



ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

Consortium: Equipe scientifique

- CRAL (Lyon - France)
 - *R. Bacon (PI), B. Guiderdoni (coI), E. Emsellem, J. Devriendt, E. Pécontal, H. Wozniak*
- LAOMP (Toulouse - France)
 - *J.P Picat (coI), T. Contini, R. Pello, G. Soucail*
- AIP (Potsdam - Germany)
 - M. Steinmetz (coI), M. Rot, L. Wisotzki
- IAG (Göttingen - Germany)
 - S. Dreizler (coI), W. Kollatschny
- Leiden Observatory (Leiden - Netherlands)
 - T. de Zeeuw (coI), M. Franx, R. McDermid, J. Shaye
- ETH (Zurich - Switzerland)
 - S. Lilly (coI), M. Carollo
- ESO
 - L. Pasquini

ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

Enjeu pour la communauté française

■ Atout de la communauté française

- Pilote d'un projet *sans concurrence au niveau mondial*
- 2 laboratoires impliqués (CRAL et LAOMP)
- « pèse » +50% de l'effort technique (60 h.an) et ~50% du science team
- Synergie avec des efforts en modélisation (ex Horizon)
- Forte synergie avec NIRSPEC/JWST (CRAL) et ALMA
- Implication ELT

■ Implication

- CNRS: 1 M€ + postes techniques
- Programmes nationaux: **PNG**, PNC

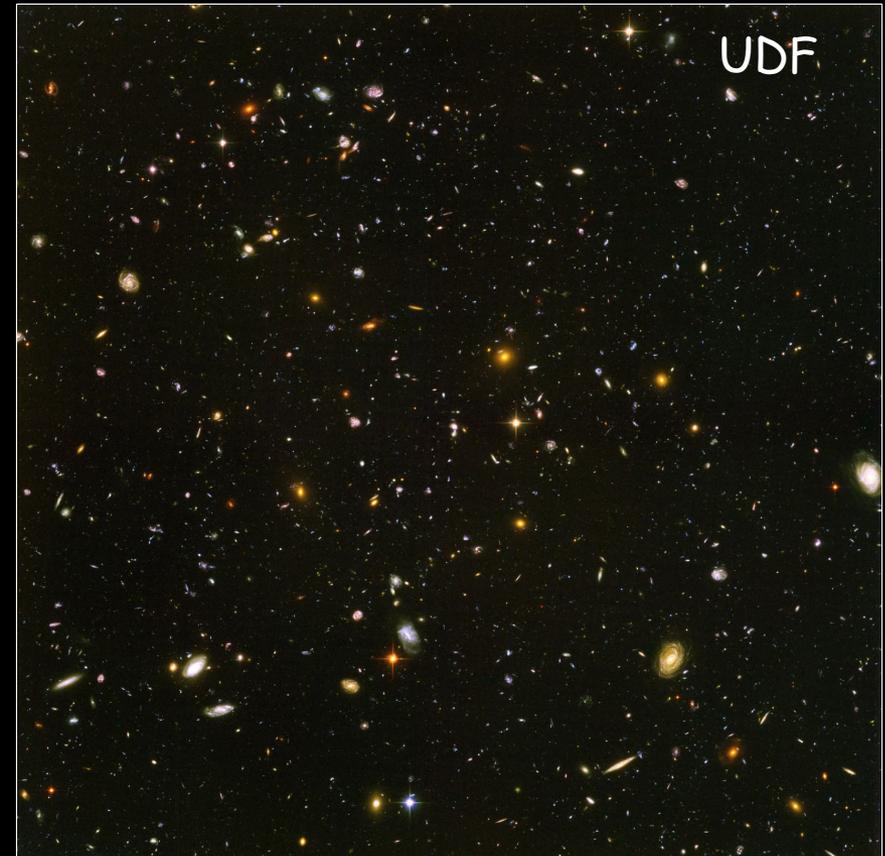
ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

Spectroscopie 3D: une nouvelle approche

- Tout en même temps !
 - Eliminer la pré-imagerie
 - Eliminer la pré-sélection
 - Observer une seule fois
 - Vaste espace de découverte



ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

Spectroscopie 3D: une nouvelle approche

- Le spectrographe 3D ultime:
 - Le meilleur des 2 mondes
 - **Imagerie:**
 - grand champ de vue
 - haute résolution spatiale
 - **Spectrographie:**
 - grand domaine spectral (simultané)
 - haute résolution spectrale
 - ⇒ *Coût important en pixels/optique*

ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

MUSE-WFM: Une étape décisive

Spectral range (simultaneous)	0.465-0.93 μm
Resolving power	2000@0.46 μm
	4000@0.93 μm
Wide Field Mode (WFM)	
Field of view	1x1 arcmin ²
Spatial sampling	0.2x0.2 arcsec ²
Spatial resolution (FWHM)	0.3-0.4 arcsec
Gain in ensquared energy within one pixel with respect to seeing	2
Condition of operation with AO	70%-ile
Sky coverage with AO	70% at Galactic Pole
Limiting magnitude in 80h	$I_{AB} = 25.0$ (R=3500)
	$I_{AB} = 26.7$ (R=180)
Limiting Flux in 80h	$3.9 \cdot 10^{-19} \text{ erg.s}^{-1}.\text{cm}^{-2}$

4096 pixels

370 10^6 pixels

90,000 spaxels

AO

Etoile laser

Transmission élevée

Stabilité

ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

Champ profond 3D: la science

- Etude détaillée de populations de galaxies faibles sur un large intervalle de redshifts

- Grand domaine pour Ly α

- Z=2.8-6.7

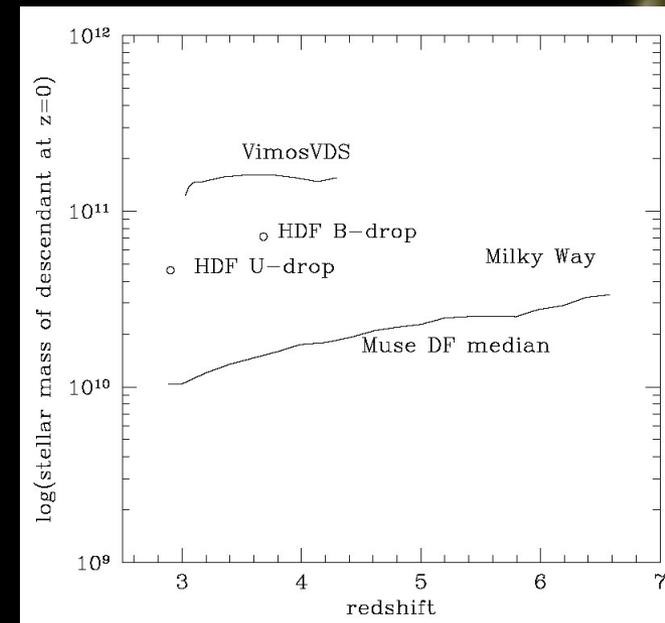
- Vol 2.2 10⁶ Mpc³ (SF 200 arcmin²)

- Faible

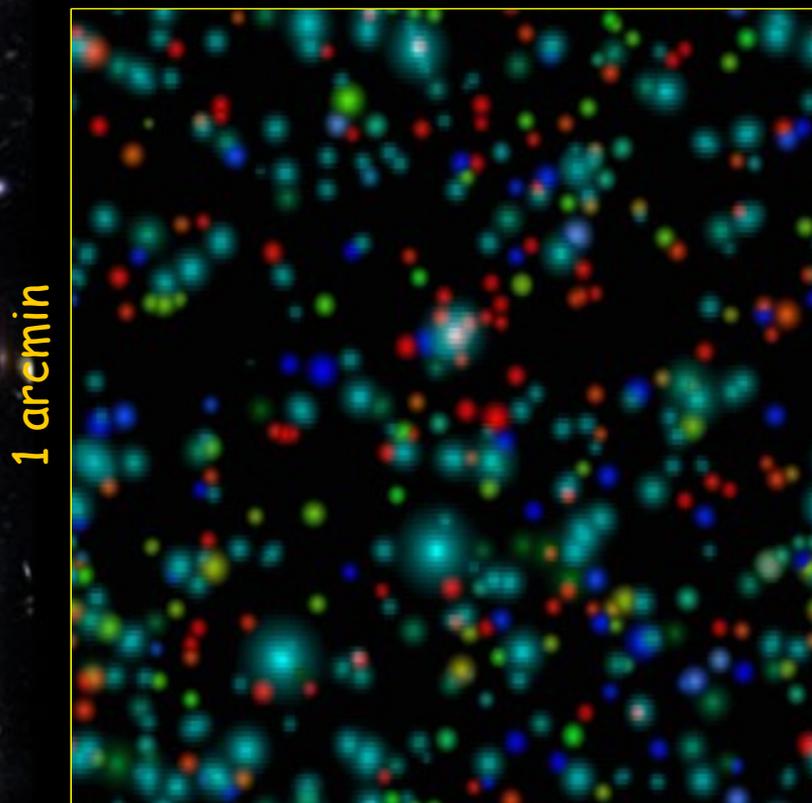
- Progéniteur de galaxies type Voie Lactée jusqu'à z=6.7

- Détaillée

- Détection, statistiques (fonction de luminosité, clustering), histoire de la formation stellaire, interaction avec l'IGM, activité centrale, ...



Champ profond 3D: prédictions



1 champ profond (80 hours)
450 galaxies



■ Simulations

- Formation de galaxies (GalIcs & GalForm) LCDM + semi-analytique

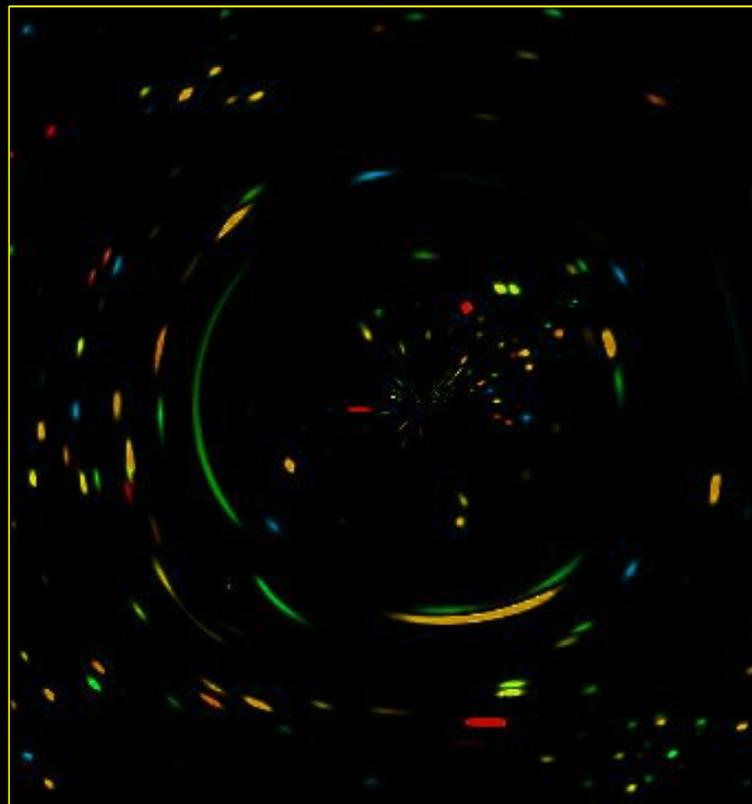
■ Détection du continu

- $I_{AB} < 26.7$
- R (200) réduit
- 154 gal. arcmin⁻²
- 95% à $z < 3$
- [OII] 3727 ($z < 1.5$)

■ Prediction des émetteurs Ly α

- Flux Ly α $> 3.9 \cdot 10^{-19}$ erg.s⁻¹.cm⁻²
- 287 gal. arcmin⁻²
- 152 gal. in z [2.8-4]
- 135 gal. in z [4-6.7]
- 16,000 sources pour tout le survey

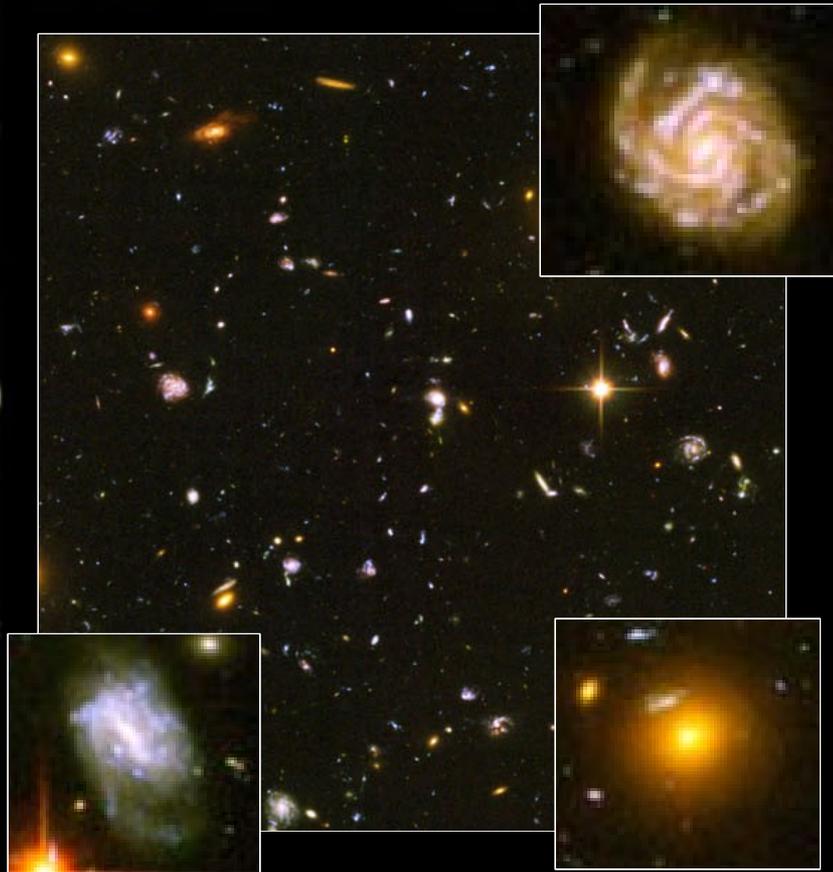
Champ profond 3D: lentilles gravitationnelles



■ Ultra deep field

- Gain x3 en moyenne sur le flux limite
- En 80h: $1.3 \cdot 10^{-19} \text{ erg.s}^{-1}.\text{cm}^{-2}$
- Images multiples
- Etude détaillée des arcs

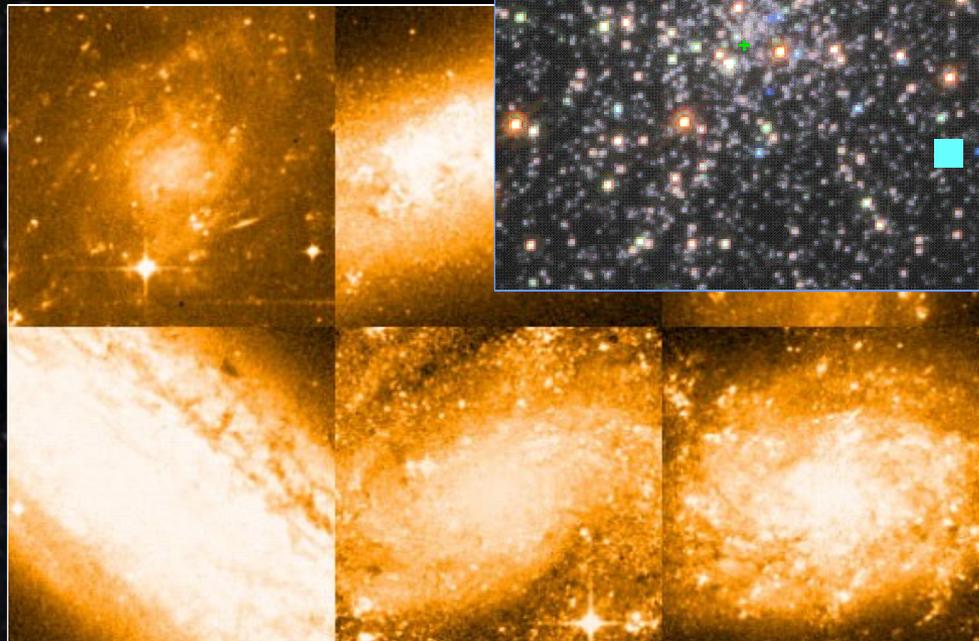
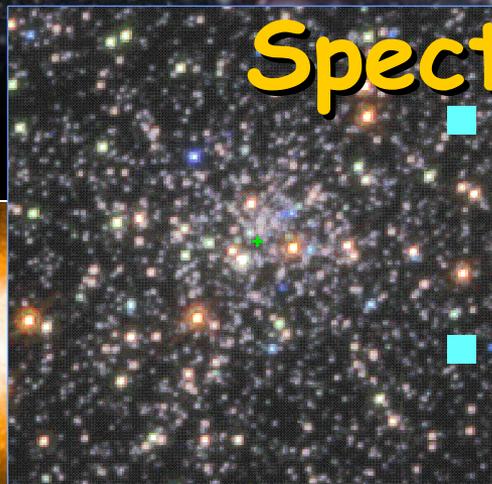
Champ profond 3D: objets spatialement résolus



- $A z < 1$
- 1.6 kpc/0.2 arcsec
- Histoire de la formation stellaire et de l'enrichissement en métaux (bulbe/disque)
- [OII], [OIII], $H\beta$



1er Mars 2006, PNG



Populations stellaires:

Spectroscopie massive

- Survey de galaxies disques proches

- 25 poses de 4 h: 5×5 arcmin²

- Sondage :

- Etoiles massives

- 1000/galaxies

- Nébuleuses planétaires

- ~100/galaxies

- Régions HII

- Objets rares

- LBV, WN/Ofpe, B[e], WN, WC

- SNR, novae, sources X ultra lumineuses

- ISM diffus

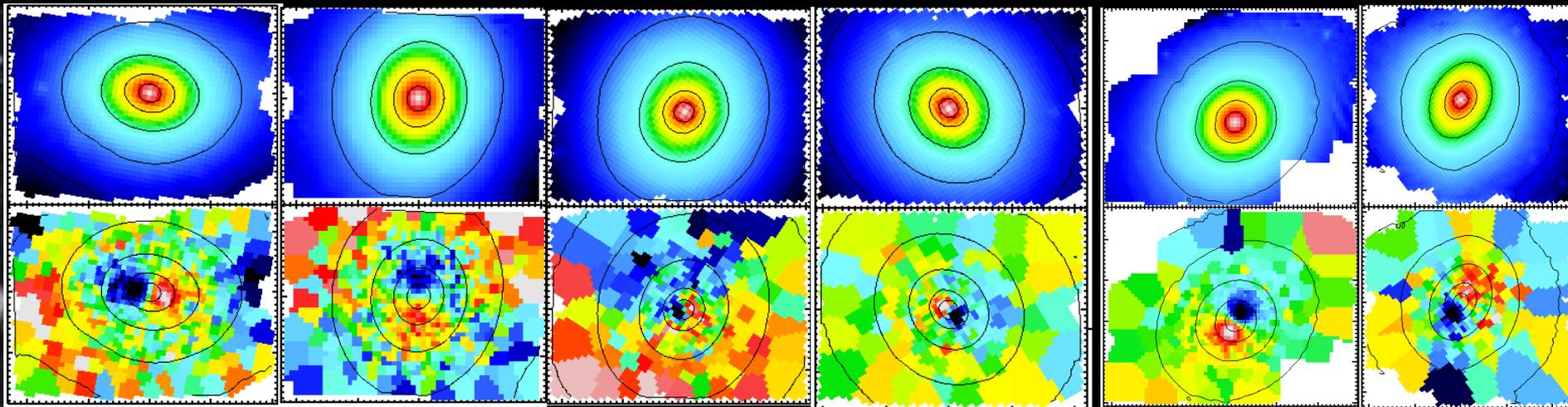
Science Pre-ELT
complémentarité avec GAIA

ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich

Coeurs découplés dans les galaxies

- Etendre les études type "SAURON" (Virgo) à d'autres environnements
- Echelles sub-kiloparsec à 100 Mpc

SAURON

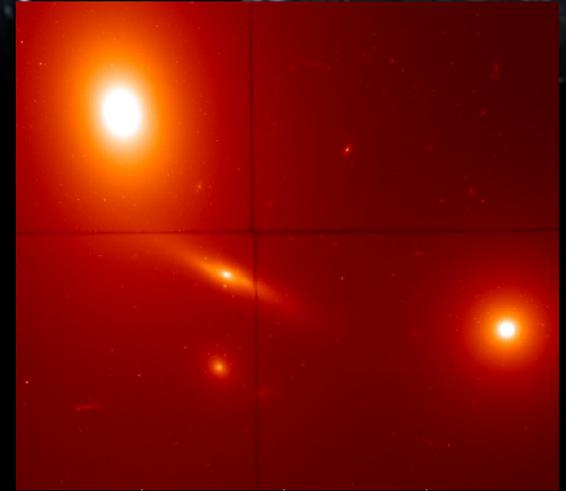




Un super OASIS / SAURON

1er Mars 2006, PNG

- 3x champ de vue SAURON
- 2x résolution spatiale (en WFM) OASIS
- 10x domaine spectral SAURON & OASIS
- 2x résolution spectrale SAURON



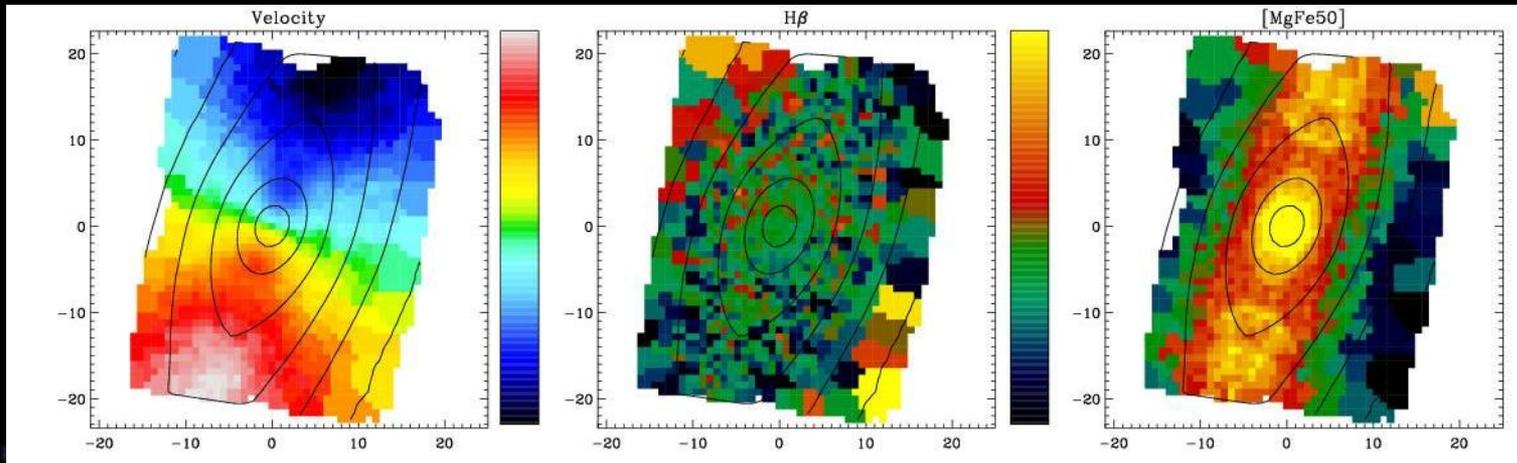
→ études des populations stellaires sur tout le domaine optique!

SAURON

V

H β

[MgFe50]



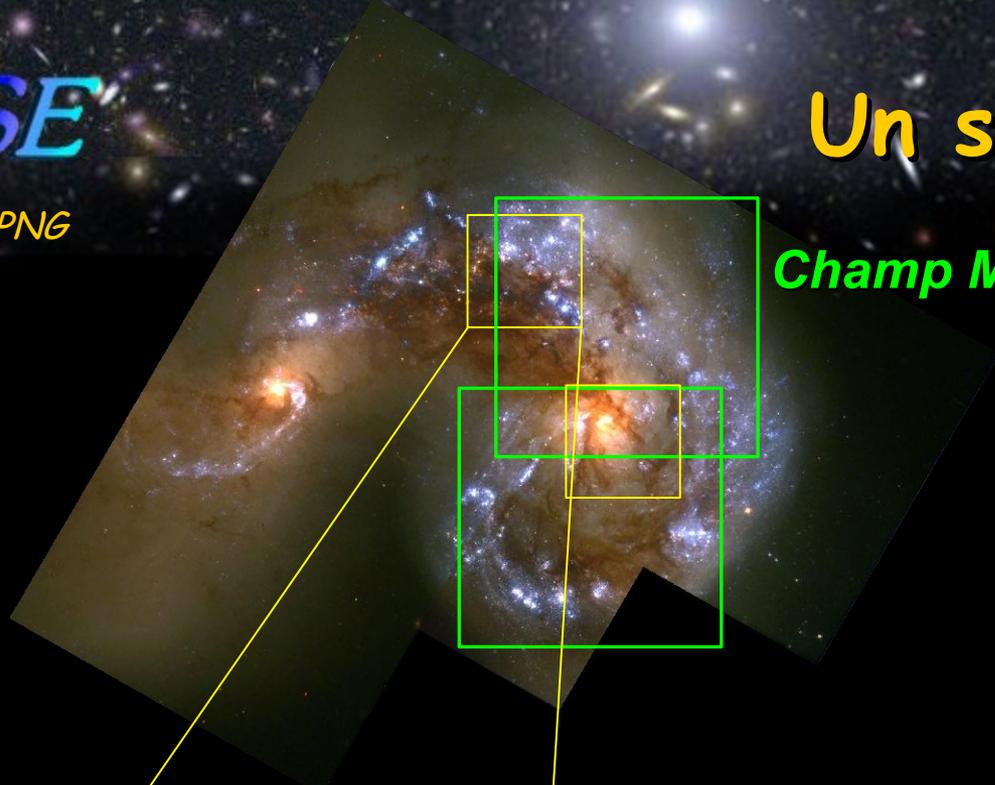
ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



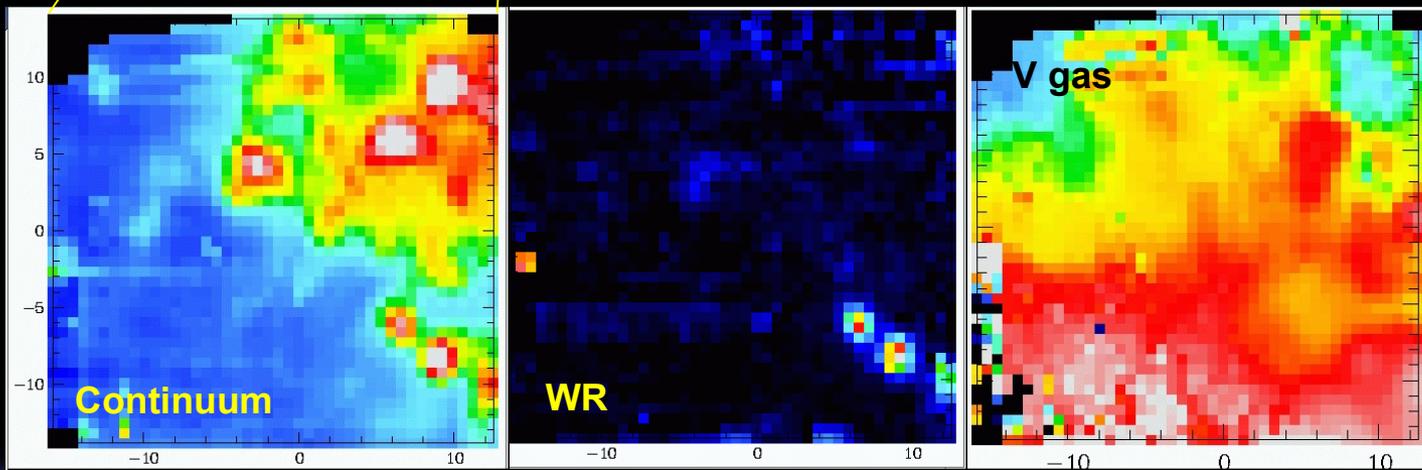
1er Mars 2006, PNG

Un super VIMOS

Champ MUSE



Bastian et al. 2006



ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



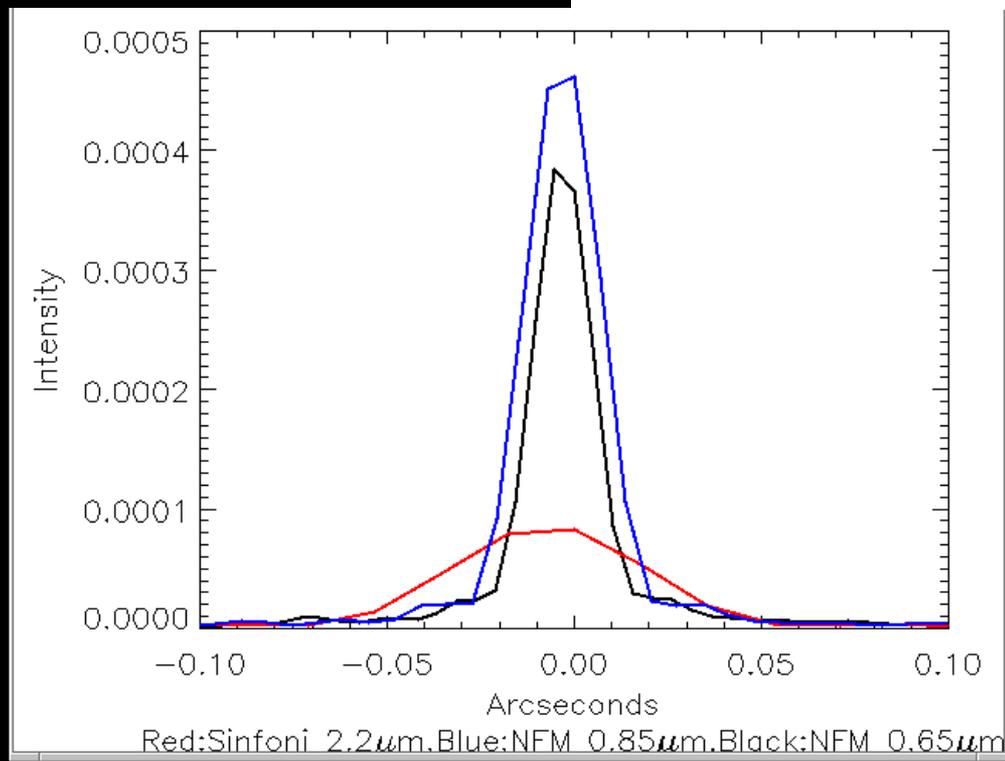
1er Mars 2006, PNG

MUSE-NFM: plus loin encore

- **Changement d'échelle**
 - $0.2 \Rightarrow 0.025$ arcsec
 - FOV 7.5×7.5 arcsec²
- **Optimisation de l'AO & configuration**
- **Résolution spatiale**
 - Limité en diffraction
 - Strehl $> 10\%$ @ $0.65 \mu\text{m}$

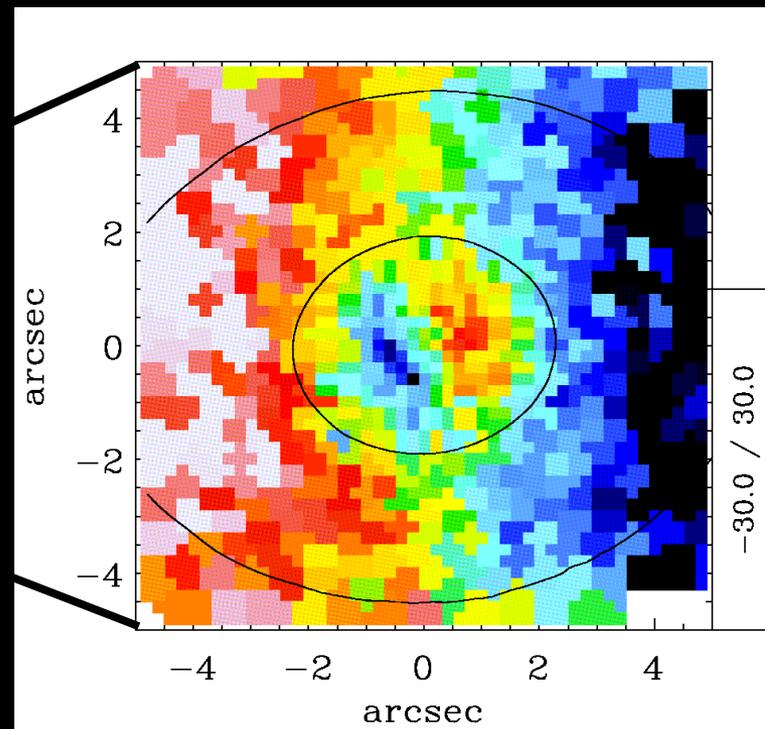
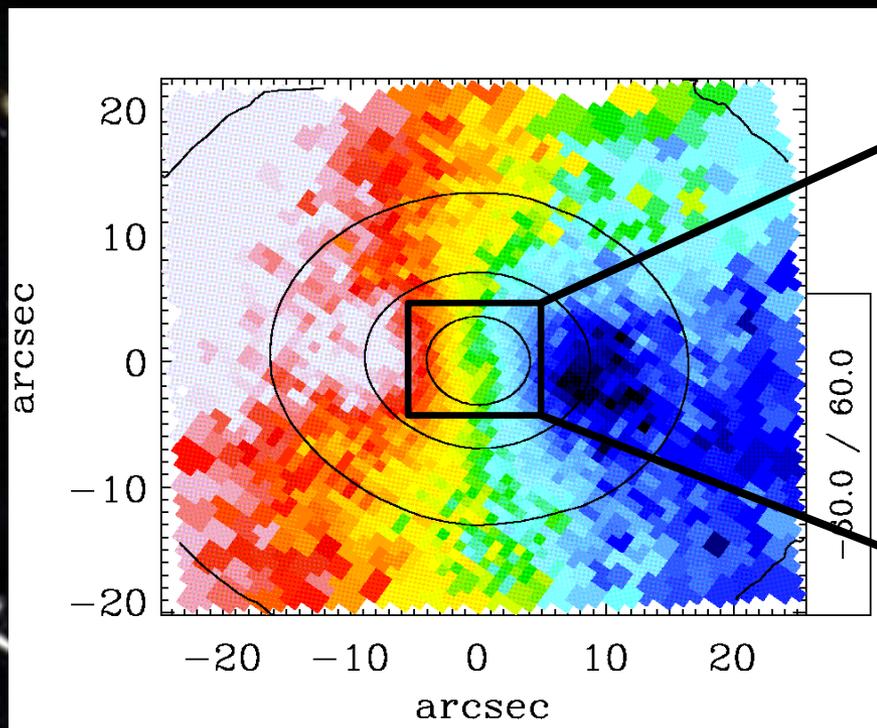
- **SINFONI**
 - 0.025 arcsec
 - 0.8×0.8 arcsec²
 - $1-2.5 \mu\text{m}$
 - Strehl 30% @K

SINFONI $2.2 \mu\text{m}$
MUSE $0.85 \mu\text{m}$
MUSE $0.65 \mu\text{m}$



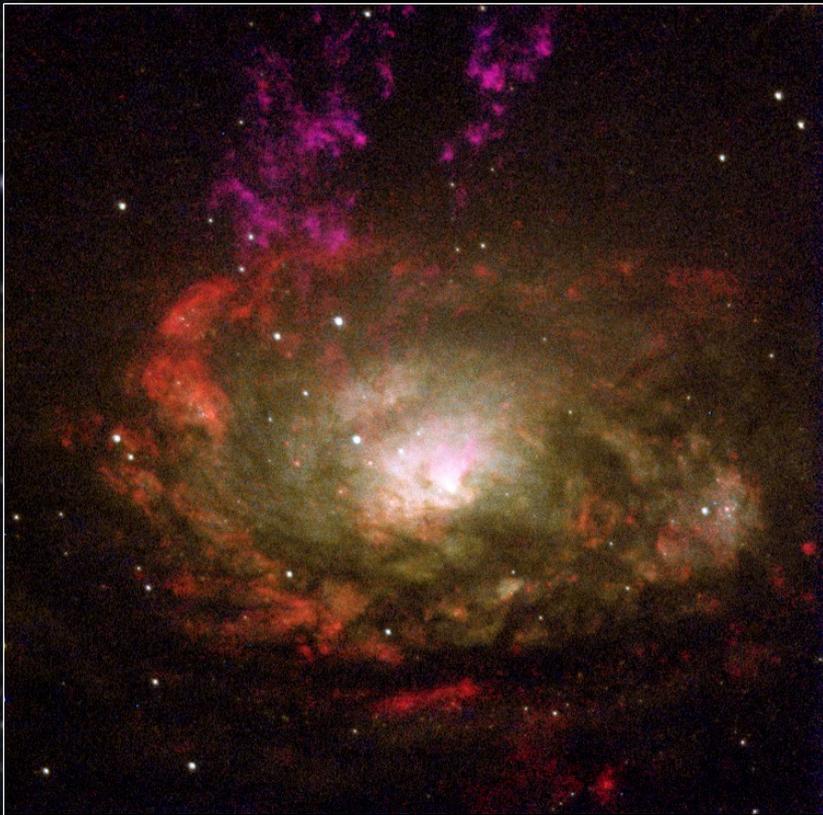
Science à la "HST"

- Meilleure résolution spatiale
- Et Couverture spatiale 2D (WFM + NFM)

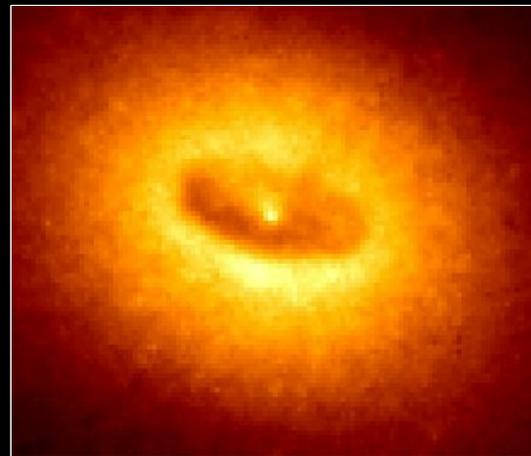


Environnement des noyaux

1er Mars 2006, PNG



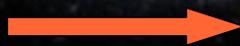
- Gaz circum-nucléaire
- Populations stellaires
- Structure orbitale





Réduction / Analyse de données le défi

1er Mars 2006, PNG

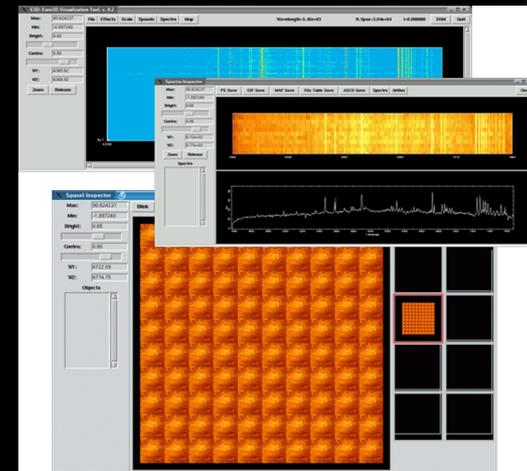


■ Volume

- 1 pose = $4 \cdot 10^8$ pixels
- 1 deep-field = 80 poses

■ Complexité

- Ex: sommation optimale de 80 poses
- Ex: variation de la PSF dans le champ, en lambda, dans le temps (problème 4D)
- Ex: extraction de spectres dans un champ dense
- Ex: recherche en aveugle dans un champ/cube profond



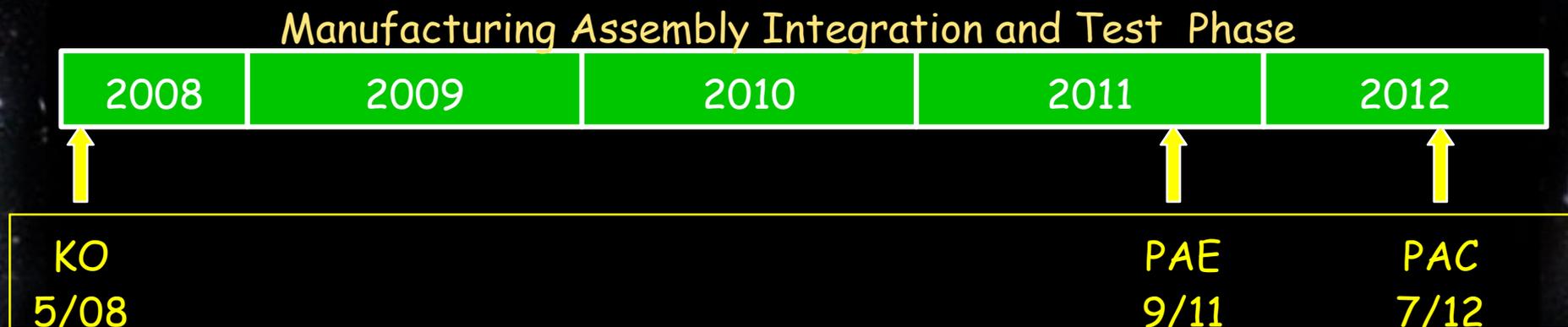
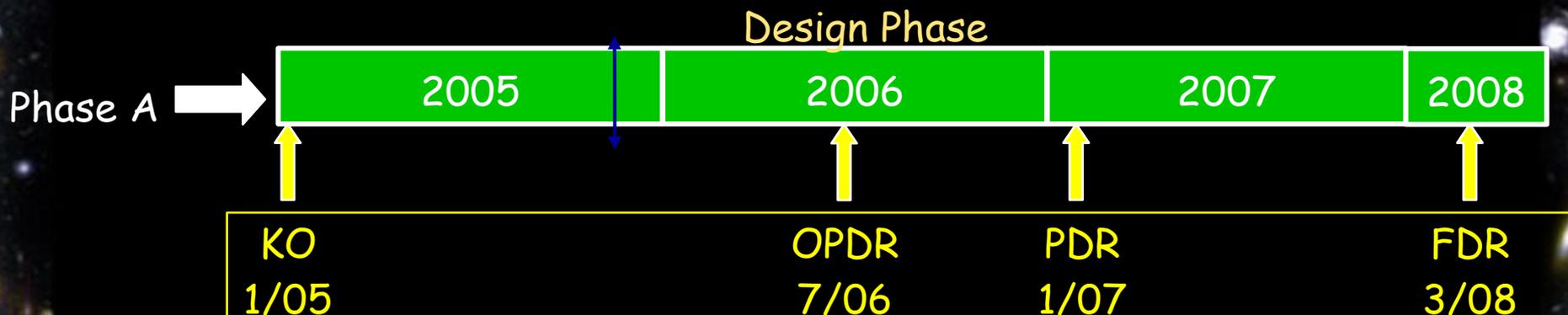
■ Data Analysis Software Tools (resp. E. Emsellem)

Lyon + LAOMP + Potsdam + Leiden
ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



Planning

1er Mars 2006, PNG

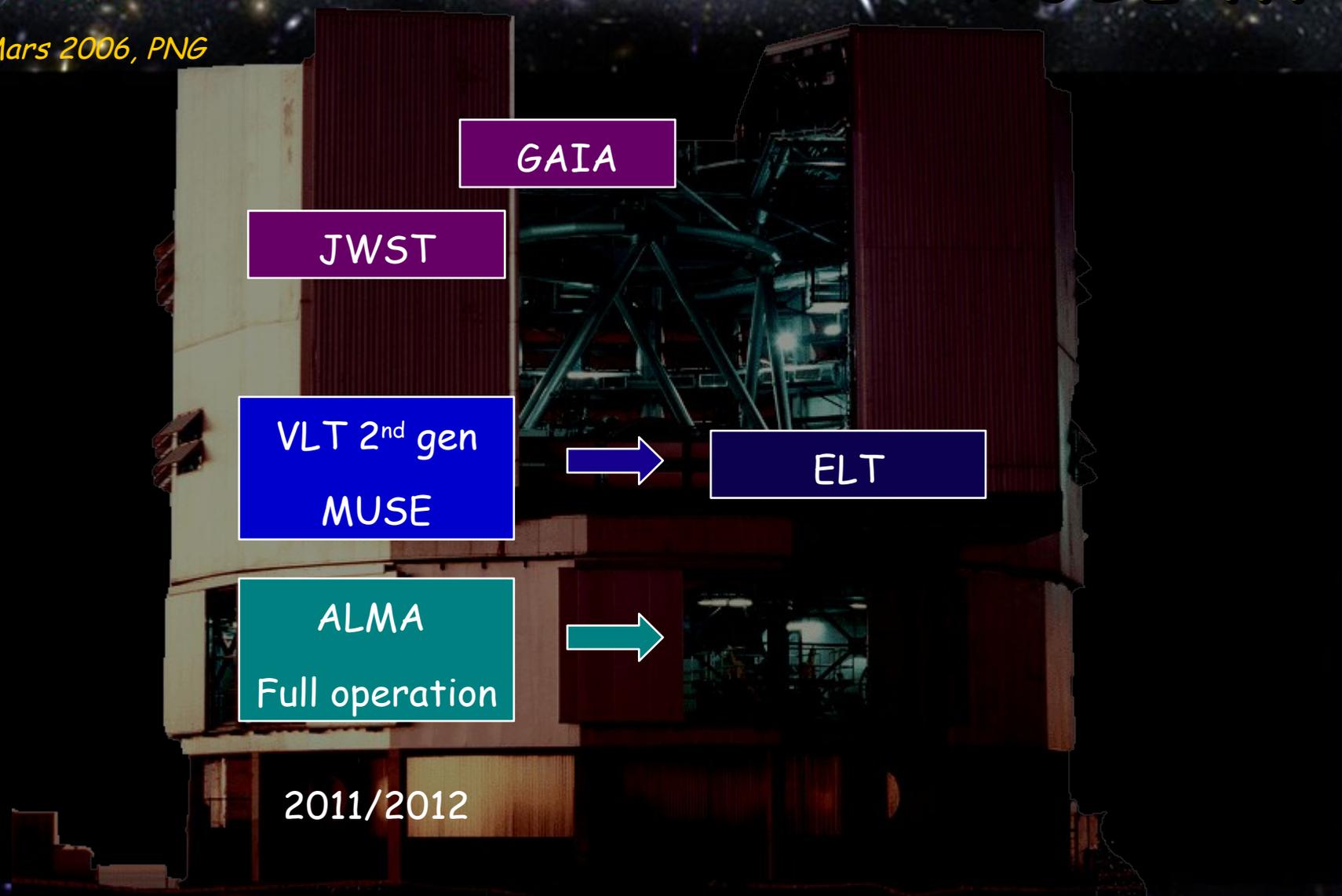


ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



1er Mars 2006, PNG

MUSE ...



2011/2012

ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich



Si vous voulez en savoir plus

1er Mars 2006, PNG

- Site public muse
 - <http://muse.univ-lyon1.fr>
- *Atelier Scientifique*
 - Présentation de l'instrument
 - Cas scientifique
 - Préparation scientifique

ESO - Göttingen - Leiden - Lyon - Potsdam - Toulouse - Zurich