

Le Projet MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer)

Roland BACON



Si nous connaissons aujourd'hui assez bien notre galaxie, cet ensemble d'une centaine de milliards d'étoiles qu'on appelle la **Voie Lactée**, nous ne savons ni comment elle s'est formée, ni qu'elle a été son histoire depuis sa naissance il y a environ 10 milliards d'années. Bien sur nous avons des idées, des modèles et nous savons même réaliser des simulations sur ordinateurs dont le résultat est très proche de notre galaxie telle que nous l'observons aujourd'hui.



La galaxie d'Andromède

est une galaxie spirale géante du groupe local, très semblable à notre galaxie

Mais c'est l'observation des jeunes galaxies, lorsque l'univers n'a que quelques centaines de millions d'années, qui permettra de trancher entre les différents modèles.

Observer les galaxies à plus de dix milliards d'années lumières est un véritable défi. En effet à de telles distances les galaxies sont en apparence minuscules et extraordinairement peu lumineuses.



Le VLT sur le site de Paranal (Chili)

Les télescopes géants comme le VLT avec ses miroirs de 8 mètres de diamètre ont un pouvoir collecteur 4 fois plus grand que la précédente génération de télescope. Mais malgré tout, ce n'est pas suffisant car à la faible luminosité des jeunes galaxies s'ajoutent les effets perturbateurs de l'atmosphère qui brouille le signal lumineux et finit par empêcher la détection.

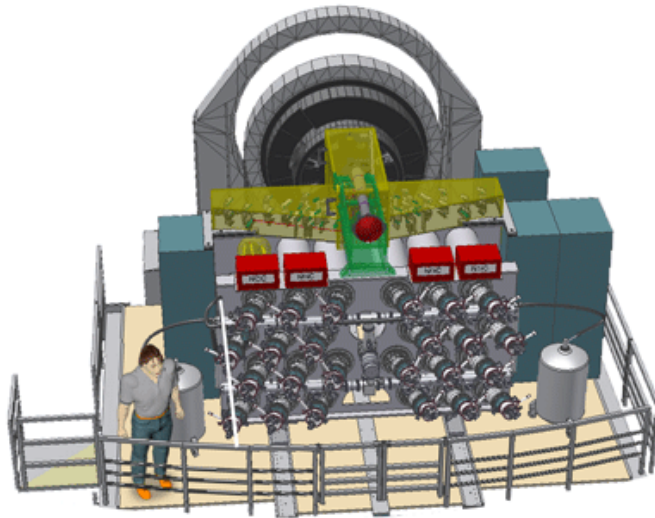
Instrument de seconde génération destiné à l'**ESO** (European Southern Observatory : Observatoire européen austral) , **MUSE** se propose de relever ce défi en associant au VLT un instrument de très haute technologie basé sur le concept innovant de spectrographe intégral de champ.

Les jeunes galaxies sont formées de jeunes étoiles. Ces jeunes étoiles, dont nous pouvons observer quelques spécimens proches de nous, se caractérisent par une grande luminosité. Mais la lumière qu'elles émettent n'est pas répartie uniformément selon la longueur d'onde (ou couleur), elle

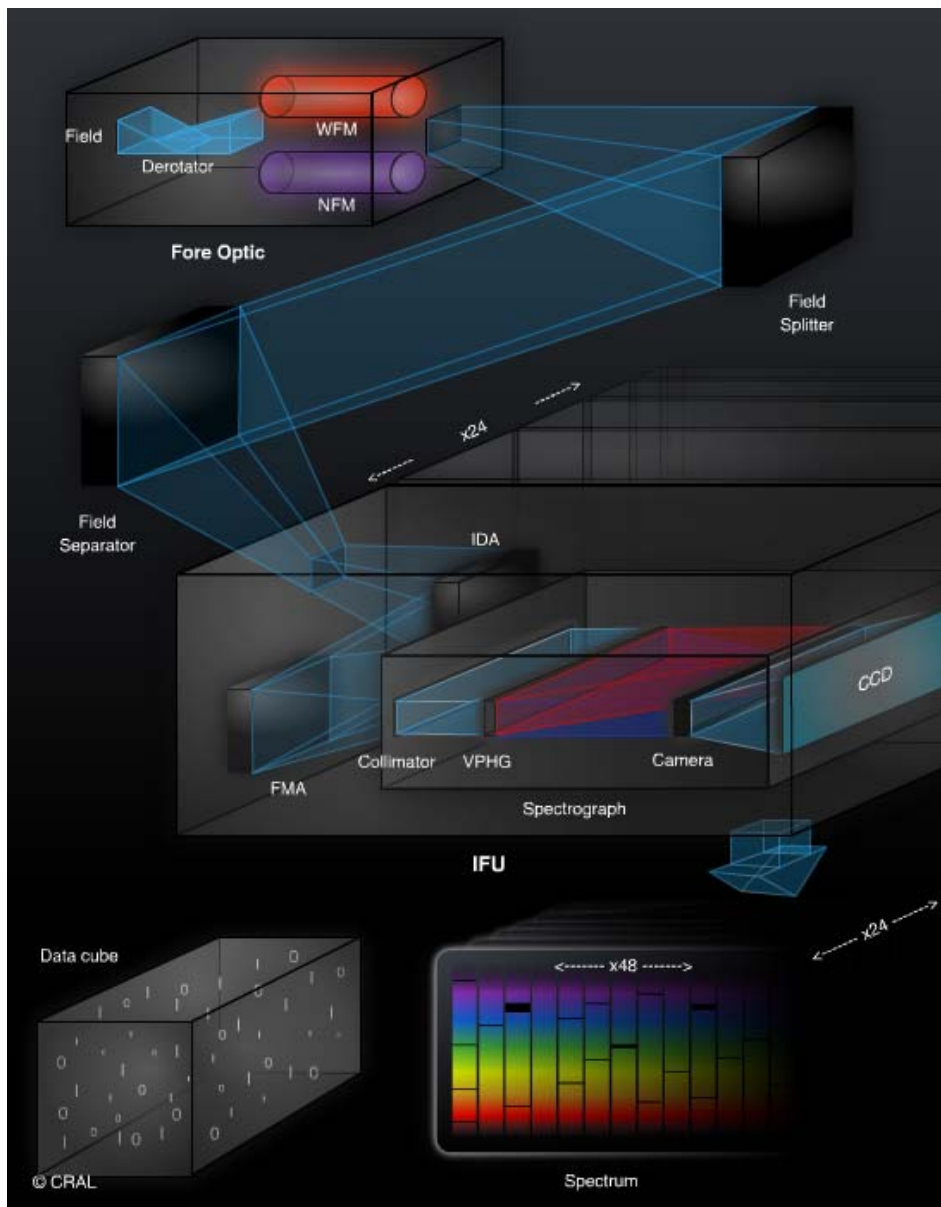
MUSE, une technologie de pointe



Avec ses 370 millions de pixels, **MUSE** est le premier et le seul instrument à pouvoir explorer en aveugle un grand volume d'Univers. Parce qu'il ouvre de nouveaux champs d'investigation pour l'astronomie optique, **MUSE** a un très fort potentiel de découverte. D'autre part, avec son mode à haute résolution spatiale, il est également un outil exceptionnel pour étudier en grand détail les phénomènes physiques complexes qui sont en œuvre dans la plupart des objets astronomiques.



Représentation de l'instrument MUSE au
foyer du VLT



Schema général du fonctionnement de MUSE

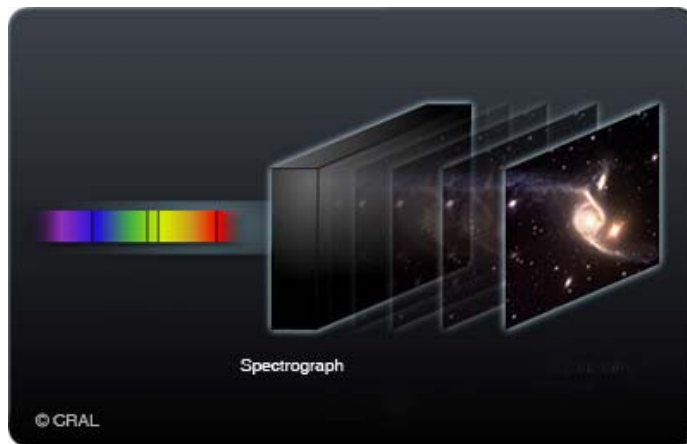
Chaque élément est cliquable et mène à l'article détaillé correspondant.

Muse est un instrument ambitieux : composé de 24 modules étudiés et réalisés dans un contexte industriel, il est optimisé pour les très longs temps de pose et assisté par une optique adaptative et 4 étoiles laser. Il fait appel à nombre d'innovations technologiques tels que les découpeurs de champs, les réseaux holographiques à volume de phase et à large domaine de longueur d'onde, les spectrographes à bas coût et l'optique adaptative multi-conjuguée. Avec ses 370 millions de pixels, MUSE est le premier et le seul instrument à pouvoir explorer en aveugle un grand volume d'Univers. Parce qu'il ouvre de nouveaux champs d'investigation pour l'astronomie optique, **MUSE** a un très fort potentiel de découverte. D'autre part, avec son mode à haute résolution spatiale, il est également un outil exceptionnel pour étudier en grand détail les phénomènes physiques complexes qui sont en œuvre dans la plupart des objets astronomiques.

Le principe de Muse : la spectrographie intégrale de champ

Là où l'observation standard de l'espace n'apporte qu'une information visuelle, la **spectroscopie** permet d'obtenir une multitude de données sur la source qui a émis la lumière. Ainsi l'on peut déterminer sa température, sa composition, estimer sa distance et son mouvement par rapport à l'observateur mais aussi de nombreuses données sur la matière présente entre la source et l'observateur.

Tandis que les anciennes techniques de **spectroscopie** ne permettaient d'observer que difficilement plusieurs objets simultanément, **MUSE** permet quand à lui d'analyser la totalité des objets d'un champ (portion d'espace visible à travers un télescope), et ce en une seule fois.



La Spectrographie standard

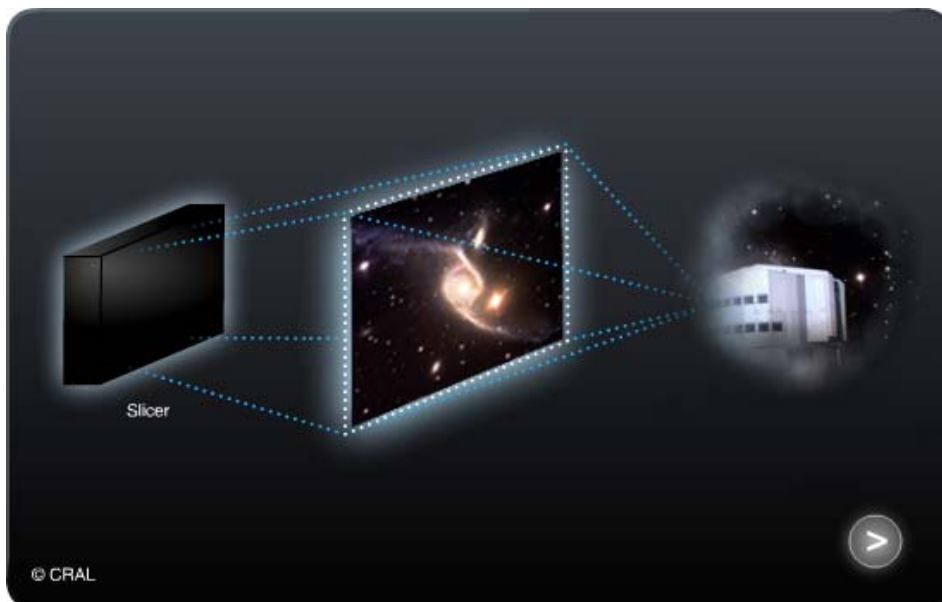
Les anciennes techniques limitent l'analyse au champ d'observation, et on doit alors effectuer une nouvelle observation pour chaque objet.

Plus précisément, **MUSE** est capable d'observer simultanément les données d'espace (coordonnées spatiale) et de spectre (lumière émise par la matière) de la totalité des objets d'un champ, là où ses prédécesseurs ne pouvaient que se limiter à une portion d'image ou à quelques objets précis.

En analysant en une seule pose toutes les informations d'un champ, **MUSE** apporte un gain énorme de temps et de précision. Là où avec des méthodes standard on ne peut observer que de petites parties d'un champ, chaque partie nécessitant une nouvelle pose avec le télescope (ou temps nécessaire à l'observation, d'une durée moyenne de 80h pour le VLT), **MUSE** effectue cette opération en une seule pose, d'où son efficacité accrue.

Le coeur du système : les découpeurs de champ.

Afin de parvenir à un tel résultat, l'objectif est de découper le champ global obtenu par le télescope en une mosaïque d'images. Ainsi il sera possible d'effectuer en une fois la spectroscopie de chaque partie de l'image. On obtient ainsi simultanément les spectres de chaque partie de l'intégralité du champ observé.



Observation et spectrométrie

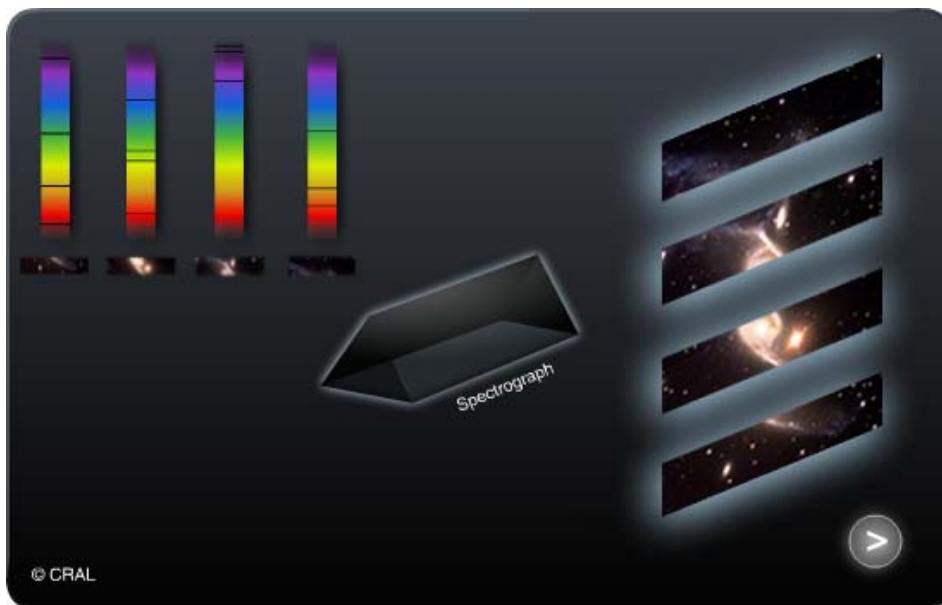
C'est à partir des observations d'un télescope que l'on obtient le « champ d'observation ».

C'est ce champ qui va être traité par le Slicer pour ensuite être analysé par spectrographie.



Le Découpeur de champ

Le découpeur de champ va scinder le champ d'observation en plusieurs « sous champs » de même dimension champ d'observation.



Du découpage de champ à la spectrographie

Puis alignera ces sous champs en directions des différents spectrographe. Ceux-ci analyseront les images, que l'on recombina ensuite pour obtenir un résultat global, avec des informations pour chaque zones découpé cette fois. Ainsi sera exploitable le spectre de multiples objets.

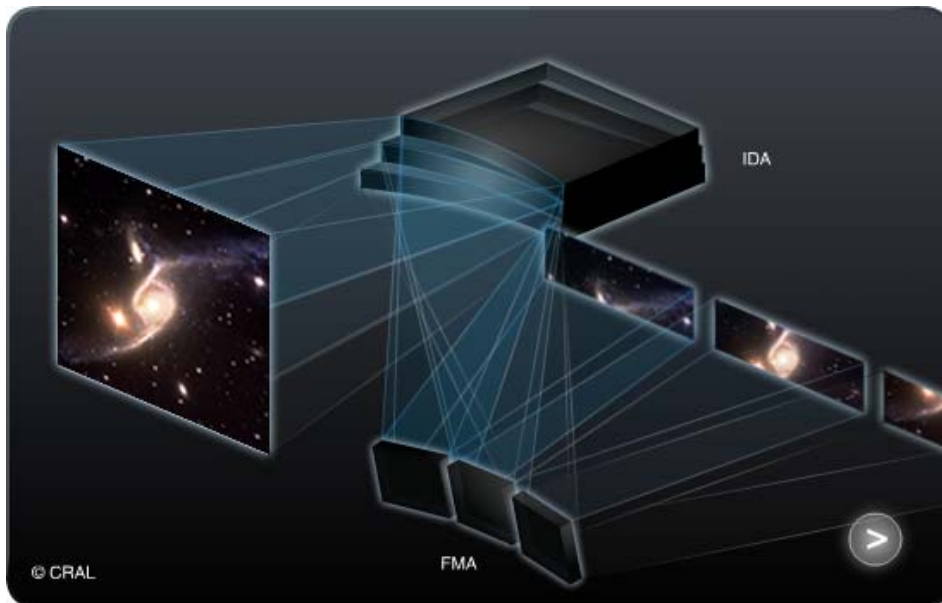
Les découpeurs de champ et MUSE :

MUSE dispose d'un premier découpeur de champ (Field Splitter) constitué de fines lames dont l'un des côté est à découpage parabolique. Il va découper l'image de champ initial en 24 parties, puis les aligner (reorganiser) à l'aide d'un jeu de lentilles : le séparateur de champ (Field Separator).

Mais l'essentiel du travail ne fait que commencer, **MUSE** va ensuite réaliser un découpage bien plus audacieux, dont la difficulté n'est pas des moindres :

Chacune des 24 parties va être acheminé par l'intermédiaire de relais optiques (Optic Relay) jusqu'à un module : l'unité d'intégrale de champ (Integral Field Unit), soit 24 IFU pour **MUSE**.

A l'intérieur de ceux-ci, un second découpeur de champ, la Matrice de dissection d'images (Image Dissection Array) va découper l'image en 48 parties, puis grâce à la Matrice de miroirs convergents (Focusing Mirror Array) les aligner (reorganiser) devant la fente d'un spectrographe, afin que celui-ci puisse analyser les 48 spectres, sans effet de chevauchement.



Le Principe Muse

l'IDA (Image Dissection Array) et le FMA (Focusing Mirror Array) au coeur du découpage de champ.

MUSE parviens ainsi à découper le champ initial en 1152 bandes géométriques, lui permettant d'obtenir une précision sans précédent.

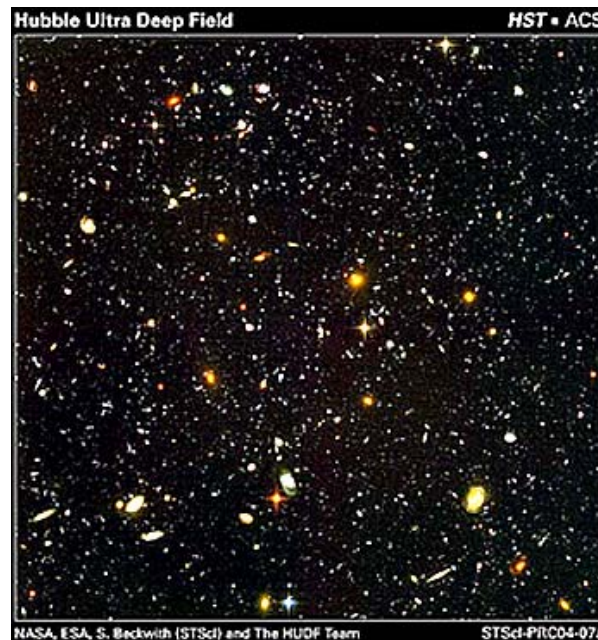
En savoir plus

- ▶ [La technologie et Muse](#)
- ▶ [La science et Muse](#)

Dans la même rubrique :

[MUSE, une technologie de pointe](#)
[Integral Field Unit \(IFU\)](#)
[Fore Optics](#)
[Le découpeur d'images](#)
[Mesures de microscopie électronique sur Slicer](#)

se concentre dans quelques raies caractéristiques : ce sont les raies de l'atome d'hydrogène, l'élément le plus abondant de l'Univers et le constituant majoritaire des étoiles. Nous avons ainsi de bonnes raisons de penser que la lumière des jeunes galaxies est donc concentrée dans les quelques raies caractéristiques de l'atome d'hydrogène. Ainsi, si nous pouvions isoler ces raies, plutôt que de moyenniser le signal sur un grand domaine de longueur d'onde comme on le fait habituellement, nous devrions gagner en sensibilité et donc détecter ces jeunes galaxies que nous recherchons.

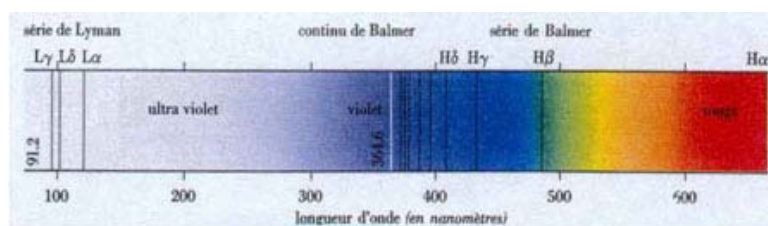


Hubble Ultra Deep Field (HUDF)

Le Hubble Ultra Deep Field est à ce jour l'image la plus détaillée de l'Univers lointain. On y découvre des galaxies distances de plus de 10 milliards d'années-lumière.

Le moyen classique pour réaliser cette opération est d'utiliser un imageur muni d'un filtre très sélectif dont la bande passante est centrée sur la longueur d'onde de la raie d'hydrogène. Malheureusement ce n'est pas possible, car suite à l'effet Doppler-Fizeau, la lumière est décalée vers le rouge en fonction de la vitesse de la galaxie par rapport à nous. La raie de l'hydrogène est aussi décalée. Mais comme nous ne connaissons pas la vitesse de la galaxie qui dépend de la vitesse d'expansion de l'Univers et de la distance précise de la galaxie, nous sommes incapables de définir le bon filtre qui nous permettrait de détecter les galaxies que nous recherchons.

L'alternative serait d'utiliser un spectrographe. Un spectrographe décompose la lumière et l'observation du spectre de l'étoile ou de la galaxie permet tout de suite d'identifier les raies caractéristiques de l'hydrogène ionisé, même si celle-ci est décalée vers le rouge. Mais quand on utilise un spectrographe il faut placer la fente du spectrographe sur l'objet, il faut donc savoir à l'avance où il se trouve !

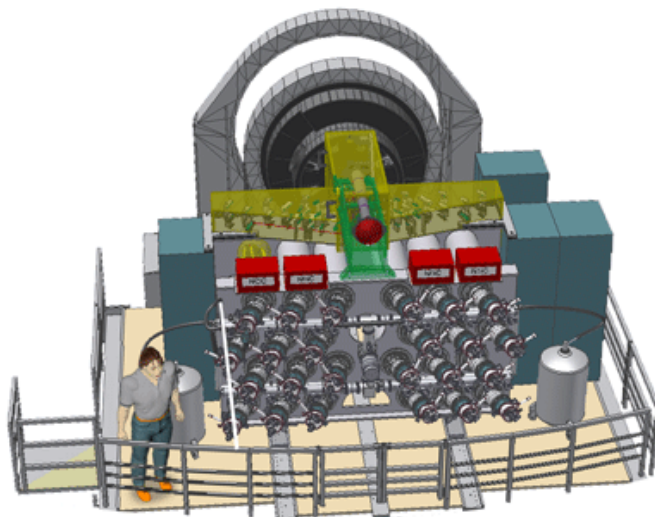


Spectre de l'atome d'Hydrogène

Comment donc détecter ces fameuses jeunes galaxies si on ne sait ni où

elles se trouvent sur le ciel (là ou il faudrait mettre la fente du spectrographe) ni à quelle longueur d'onde précise se trouve la raie de l'hydrogène (là ou il faudrait centrer le filtre de notre imageur) ? La réponse se trouve dans le concept de **spectrographe intégral de champ** ou spectrographe 3D, ni imageur, ni spectrographe, mais les deux à la fois. Ce concept dont le **Centre de Recherche Astrophysique de Lyon** a été le fondateur, permet d'obtenir simultanément un spectre pour chacun des points du champ de vue. Grâce à un tel instrument il est alors possible d'explorer l'univers en 3 dimensions et de rechercher les jeunes galaxies quelque soit leurs localisation et leur distance.

L'instrument **MUSE** est donc basé sur ce concept, mais pour embrasser un champ aussi grand que possible, il utilise non pas un, mais 24 spectrographes 3D. Pour gagner en efficacité le découpage du champ est réalisé par une nouvelle technologie, le découpeur du champ ou slicer en anglais. Compte tenu de leur distance, les galaxies que nous recherchons seront très petites. **MUSE** va donc utiliser un système d'optique adaptative de nouvelle génération qui permet de corriger en temps réel des perturbations de l'atmosphère. Malgré toutes ces innovations, l'observation du ciel profond avec **MUSE** prendra jusqu'à une centaine d'heures avec l'un des plus grand télescope du monde qu'est le VLT. Les performances de **MUSE** permettront ainsi de détecter des galaxies qui sont 100 millions de fois moins lumineuse que les étoiles les plus faibles observables à l'œil nu.



Representation 3D de l'instrument MUSE au foyer Nasmyth du VLT

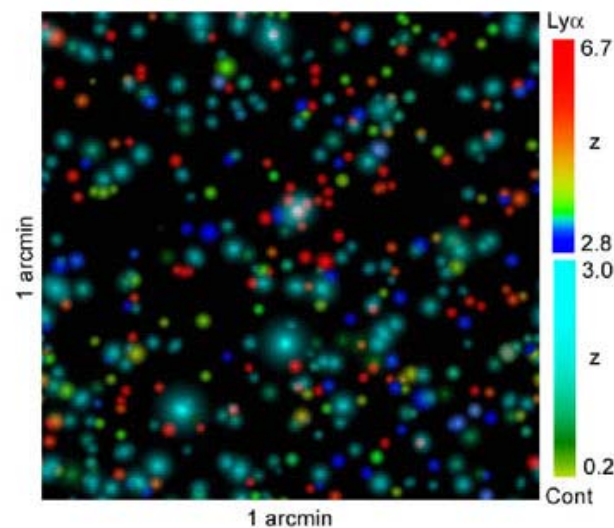
Ce projet ambitieux et unique au monde est porté par 7 grands laboratoires de recherche européens : le Centre de Recherche Astrophysique de Lyon (France) qui en est le pilote, le Centre Européen d'Astronomie (ESO), l'Observatoire de Leiden (Pays-Bas), le Laboratoire d'Astrophysique de Tarbes-Toulouse (France), l'Institut d'Astrophysique de Göttingen (Allemagne), le Laboratoire d'Astrophysique de l'Institut Polytechnique de Zurich (Suisse) et l'Observatoire de Potsdam (Allemagne).



Le consortium regroupe ainsi plus d'une centaine de chercheurs et d'ingénieurs couvrant toutes les spécialités nécessaires à la réalisation et à l'exploitation de l'instrument : optique, mécanique, électronique, cryogénie,

traitement du signal, management, astrophysique instrumentale et théorique.

Commencé en 2004, l'instrument devrait voir sa première lumière en 2012 sur le site du VLT au Chili. A partir de cette date le consortium partira en chasse des jeunes et lointaines galaxies avec pour objectif de répondre aux questions fondamentales de la genèse et de l'évolution des galaxies. Mais **MUSE** pourra servir à bien d'autres recherches en astrophysique. C'est ainsi que le consortium envisage également de l'utiliser pour étudier l'environnement des trous noirs géants qui trônent au cœur des galaxies ou pour étudier les populations d'étoiles dans les galaxies proches de la notre. Simultanément l'instrument sera ouvert à la communauté des astrophysiciens des pays membres de l'ESO qui pourront utiliser les performances exceptionnelles de l'instrument afin de tenter de répondre aux grandes interrogations de l'astrophysique moderne.



Simulation d'un champ profond MUSE.

Les galaxies sont colorées suivant leur éloignement (rouge pour les plus distantes).

Consortium



MUSE est un projet d'un consortium européen piloté par un laboratoire français, le Centre de Recherche Astronomique de Lyon (**CRAL**).

Outre le CRAL, le consortium comporte les laboratoires suivants : l'Institut d'Astrophysique de Potsdam (**AIP**), l'Observatoire européen austral (**ESO**), l'Institut d'Astronomie ETH (**Zurich - Switzerland**), Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse-Tarbes (**CNRS/University Paul Sabatier - France**), l'Institut d'Astrophysique de Göttingen (**Georg-August University of Göttingen - Germany**), et l'Observatoire de Leiden (**NOVA - Netherlands**).



**CRAL - Centre de Recherche Astronomique de Lyon
(France)**

www-obs.univ-lyon1.fr

The Center of Astronomical Research of Lyon (CRAL) is a research institute established by CNRS, Ecole Normale Supérieure de Lyon and University Claude Bernard-Lyon I. Research activities at CRAL concentrate on theoretical, observational and instrumental aspects of stellar, galactic and extragalactic astronomy. The development of innovative instruments is a long tradition at CRAL. The institute has pioneered the development of integral field spectroscopy with TIGER, and has since built and operates three other instruments : OASIS, SAURON and SNIFS.

CRAL is responsible for the overall management of the MUSE project. The other major contributions include the image slicer sub system, the spectrograph opto-mechanical design and integration and the data analysis software.

CRAL's involvement in MUSE is funded by Institut National des Sciences de l'Univers of CNRS, the University Claude Bernard Lyon I and the Ministère de la Recherche et de la Technologie. A dedicated integration hall will be built at the Observatory site. This building is funded by the Région Rhône-Alpes, the CNRS, the city of Lyon, the Ministère de la Recherche et de la Technologie, the University Claude-Bernard Lyon I, the Grand Lyon, the town of Saint Genis Laval and the Rhône departement.



ESO - European Southern Observatory



www.eso.org

The European Southern Observatory is an intergovernmental, European organisation for astronomical research. With eleven member countries ESO is the largest European organization in astronomy. ESO operates astronomical observatories in Chile and has its headquarters in Garching, near Munich, Germany. After its delivery and integration in Paranal, MUSE will become an ESO facility open to the whole astronomical community.

ESO Optical Detector Team (ESO/ODT) from the Instrumentation Division is responsible for the detector system which consist of 24 detectors and their cryogenic environment. ESO Adaptive Optics Team (ESO/AOT) from the Telescope Division is also in charge of the full adaptive optics system named GALACSI which include the deformable adaptive secondary and the four lasers.



AIP - Astrophysikalisches Institut Potsdam (Germany)

www.aip.de

The Astrophysical Institute Potsdam (AIP) is a German WGL research institute in Potsdam, Brandenburg. It is located on the campus of Sternwarte Babelsberg in the immediate vicinity of Berlin. The AIP has two departments which focus on stellar and extragalactic astronomy & cosmology, with a broad coverage of theoretical and observational research fields. The AIP is also strongly involved in telescope and instrumentation projects. Members of the AIP MUSE team have experience with integral field spectroscopy since 1996 and have built the PMAS 3D spectrophotometer, now in operation at Calar Alto observatory. The AIP is coordinator of the Euro3D Research Training Network on 3D Spectroscopy, funded by the European Commission.

Within the MUSE effort, AIP has responsibility for the development of the Calibration Unit, testing of the preassembled spectrograph-detector units, and the data reduction pipeline. Funding is provided from local resources, as well as additional support from the German Verbundforschung of the Federal Ministry BMBF, managed by PT-DESY.



ETH - Institute of Astronomy ETH Zurich (Switzerland)

www.ethz.ch

ETH

...



IAG - Institut für Astrophysik Göttingen (Germany)

www.uni-sw.gwdg.de

The Institute for Astrophysics (IAG) of the Georg-August University of Göttingen is the institute for astronomical and astrophysical research and education in the German State of Lower Saxony. The institute activities cover the fields of solar, stellar and extragalactic astrophysics. Based on a long tradition, the research activities are fostered by numerous instrumentation developments of which the latest have been the two FORS Imager and Spectrographs for the ESO-VLT and the Quarter-Giga-Pixel camera of 1-Square-Degree OmegaCAM for the Paranal Observatory.

In the MUSE Project, IAG holds responsibility for the design, analysis and procurement of the instrument mechanics, the support and handling structures as well as for the optics that apply the field splitting and the relay optics, feeding the twenty four spectrographs. These activities are based on the staff and infrastructure of the University of Göttingen and are additionally supported by the Federal Ministry for Education and Research BMBF through the 'Verbundforschung Astronomie' managed by PT-DESY.



LAOMP - Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse-Tarbes (France)

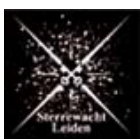
www.ast.obs-mip.fr

The Astrophysics Laboratory of the Midi-Pyrénées Observatory (LAOMP) located in Toulouse, is a joint research unit of CNRS/INSU and the University Paul Sabatier. LAOMP research is focused on galaxies evolution, cosmology, stars and the Sun studies, signal processing and fluid dynamic studies. LAOMP is also involved in instrument design for ground and space projects.

LAOMP, as a Col institute in MUSE Consortium, is in charge of the Electronic and Software Control of the whole Instrument and of the Opto-

mechanical development of the Fore-Optics module.

Activities are funded by the « Institut National des Sciences de l'Univers » of CNRS, the University Paul Sabatier (Toulouse) and the « Ministère de la Recherche et de la Technologie ».



Leiden Observatory (NOVA - Netherlands)

www.strw.leidenuniv.nl

Leiden Observatory is part of Leiden University, the oldest university in the Netherlands. Research at the Observatory covers a broad range of astronomy topics : from protostars, the interstellar medium, and dynamics of our own Galaxy and nearby systems ; to the large-scale structure of the universe and the highest redshift galaxies. Leiden Observatory has had a strong involvement in the development of several established instruments, such as the SAURON integral-field spectrograph, and new initiatives are extending laboratory activities into the fields of interferometry and adaptive optics.

Leiden is responsible for designing ASSIST - the Adaptive Secondary Simulator and InStrument Testbed - which will allow the complete testing of the MUSE adaptive optics system in Europe, before shipping to the VLT in Chile. Leiden is also responsible for the interface between the MUSE spectrograph and the adaptive optics system, and for defining the top-level requirements for the adaptive optics system. Leiden also leads the instrument science team.

Leiden's contribution to MUSE is funded primarily by NOVA, the Netherlands Research School for Astronomy. NOVA is participating in the European 6th Framework program Second generation Adaptive Optics for 8-10 m Telescopes, which is part of the OPTICON project. Additional funding comes from NWO, the Netherlands Organisation for Scientific Research.



Dans la même rubrique :

Team

**Consortium Staff Members : CRAL**

Name	Responsibility
Adjali Louisa	Optical Team
Bacon Roland	Principal Investigator
Boudon Didier	Mechanical Engineer
Caillier Patrick	Project Manager
Capoani Lionel	Product Assurance Manager
Champavert Nicolas	Staff Member
Courtois Helene	Science Team Associate
Daguisé Eric	Mechanical Engineer
Devriendt Julien	Science Team Associate
Dubet Dominique	Electronic Engineer
Dubois Jean-Pierre	Mechanical Engineer
Emsellem Eric	Science Team Member
Ferruit Pierre	Staff Member
Francois Mylene	Secretaryship
Guiderdoni Bruno	Co-Investigator
Hansali Ghaouti	Staff Member
Jarno Aurélien	Software Engineer
Kosmalski Johan	Optical Engineer
Laurent Florence	AIT Manager
Loupias Magali	System Engineer
Pecontal Arlette	Software Project Manager
Pecontal Emmanuel	Science Team Member
Petit Chantal	Staff Member
Remillieux Alban	Local Project Manager
Renault Edgard	Optical Engineer
Wozniak Herve	Science Team Member

Consortium Staff Members : AIP

Name	Responsibility
Bauer Svend-Marian	Mechanical Engineer
Bittner Wilbert	Electronic Engineer
Boehm Petra	Staff Member
Enke Harry	Staff Member
Fechner Thomas	Staff Member
Gerssen Joris	Staff Member
Hahn Thomas	Staff Member
Kelz Andreas	Staff Member
Paschke Jens	Staff Member

Popow Emil	Staff Member
Roth Martin	Local Project Manager & Science Team Member
Steinmetz Matthias	Co-Investigator
Tripphahn Ute	Staff Member
Weilbacher Peter	Software Engineer
Wisotzki Lutz	Science Team Member

Consortium Staff Members : ESO/INS

Name	Responsibility
Balestra Andrea	Staff Member
Cumani Claudio	Staff Member
Deiries Sebastian	Staff Member
Iwert Olaf	Staff Member
Lizon Jean-Louis	Staff Member
Meyer Manfred	Staff Member
Reiss Roland	Local Project Manager

Consortium Staff Members : ETH

Name	Responsibility
Carollo Marcella	Science Team Member
Lilly Simon	Co-Investigator
Monstein Christian	Local Project Manager

Consortium Staff Members : IAG

Name	Responsibility
Dreizler Stefan	Co-Investigator
Hille Dieter	Staff Member
Hofmann Denni	Mechanical Engineer
Jeep Peter	Staff Member
Koehler Christof	Mechanical Engineer
Kollatschny Wolfram	Science Team Member
Nicklas Harald	Local Project Manager
Seifert Walter	Optical Engineer
Wellem Walter	Staff Member
Xu Wenli	Optical Engineer

Consortium Staff Members : LATT

Name	Responsibility
Baratchart Sébastien	Staff Member
Bourrec Elodie	Staff Member
Brau-Nogué Sylvie	Local Project Manager
Carfantan Hervé	Staff Member

Contini Thierry	Co-Investigator
Deville Yannick	Staff Member
Dupieux Michel	Staff Member
Dupin Jean-Pierre	Electronic Engineer
Gallou Gérard	Staff Member
Hosseini Shahram	Staff Member
Moultaka Jihane	Science Team Member
Parès Laurent	Optical Engineer
Pastor Pierre	Staff Member
Pello Roser	Science Team Member
Roques Sylvie	Staff Member
Soucail Genevieve	Science Team Member
Valentin Hervé	Staff Member

Consortium Staff Members : LEIDEN

Name	Responsibility
Brandl Bernhard	Staff Member
Franx Marijn	Instrument Scientist
Hallibert Pascal	Staff Member
McDermid Richard	Science Team Associate
Schaye Joop	Co-Investigator
Stuik Remko	Local Project Manager

ESO MUSE Team Members :

Name	Responsibility
Delabre Bernard	Optical Followup
Duchateau Michel	Electronic Followup
Dupuy Christophe	AIT Followup
Longinotti Antonio	Software Followup
Manescau Antonio	ESO Board Deputy
Palsa Ralf	Software Followup
Pasquini Luca	ESO Board Responsible
Popovic Dan	Software Followup
Quattri Marco	System Followup
Robert Pascal	Paranal Followup
Rupprecht Gero	Product Assurance Followup
Schneermann Michael	Mechanical Followup
Strasser Josef	Management Followup
Walter Nees	Electronic Followup