



De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes géants

Après une première partie dédiée à une mise en abyme des **dimensions de l'Univers**, et une seconde qui couvrait l'**histoire des télescopes et notamment de leurs capteurs CCD**, et une troisième aux **grands télescopes**, nous allons maintenant explorer les télescopes terrestres géants qui sont actuellement en construction.

L'objectif technique principal de ces nouveaux télescopes est de continuer d'améliorer la résolution angulaire et la captation d'objets distants faiblement lumineux. Ils seront dotés d'instruments dans la lignée de ceux des grands télescopes existants : optique adaptative pour limiter les effets de diffraction de l'atmosphère et des défauts des miroirs principaux et secondaires, spectrographie multi-objets à haute résolution, caméras CCD très sensibles, etc.

Les objectifs scientifiques sont voisins entre ces différents télescopes mêmes si, parfois, ils se complètent harmonieusement. Il s'agit d'explorer l'Univers du plus près au plus lointain : le système solaire, les étoiles proches de la Voie Lactée et leurs exoplanètes, comprendre la formation et le cycle de vie des étoiles et des galaxies, et remonter dans le temps autant que possible pour analyser la création de la matière, des premières étoiles et galaxies dans l'histoire appréhendable de l'Univers.

La complémentarité est plus forte entre les télescopes terrestres et les télescopes spatiaux qui peuvent explorer les parties du spectre électromagnétique qui sont inaccessibles sur Terre, comme les rayons X et gamma ainsi qu'une bonne part de l'infrarouge moyen et lointain. Du côté des exoplanètes, la précision des nouveaux télescopes est telle que l'on peut maintenant les détecter directement par imagerie et non pas indirectement, comme avec la méthode des transits qui analyse l'évolution temporelle de la luminosité et du spectre des étoiles observées.

Nous allons ici examiner de près les quatre télescopes géants qui sont actuellement en gestation : le **Large Synoptic Survey Telescope** (Chili), le **Giant Magellan Telescope** (également au Chili), le **Thirty Meters Telescope** (Hawaï, mais ce n'est pas encore sûr) et l'**European Extremely Large Telescope** (aussi au Chili). Tous ces télescopes ne seront pas opérationnels avant 2022-2028 selon les cas. A part le LSST, les trois autres se distinguent par leur gigantisme. Leurs miroirs primaires géants sont trois à quatre fois plus larges que ceux des plus grands télescopes existants. Tous ces projets sont le résultat d'une collaboration internationale intense. Ils mettent systématiquement en jeu les USA, le Canada et les pays européens avec, selon les cas, des pays d'Asie (Japon, Corée, Chine) ou d'autres continents comme l'Amérique du Sud. Les Russes sont étonnamment absents de ces partenariats et relativement peu actifs.

Comme pour les grands télescopes examinés dans la partie précédente, ces télescopes géants sont des projets au long cours. Leur conception et planification date en général du début des années 2000 et ils seront opérationnels près de 25 ans après. Leur roadmap prévoit de plus la mise en service d'instruments sur près d'une décennie. Qui plus est, ces projets sont conditionnés par le côté aléatoire des financements publics qui les alimentent. Ils

bénéficie de quasiment aucun financements privés car ils sont dédiés à la recherche fondamentale. Heureusement, ces financements publics alimentent des industriels de toutes tailles et font avancer les technologies qui ont souvent des usages autres, civils comme militaires.

Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

Avec son miroir principal de 8,4 mètres de diamètre, que fait le LSST dans la liste des télescopes géants ? C'est la même taille que l'un des miroirs du Large Binocular Telescope d'Arizona lancé en 2005 ! La raison est que ce télescope est un géant dans sa catégorie. Il doit succéder au Sloan Telescope qui, avec son miroir de 2,5 mètres, servait au programme SDSS (Sloan Digital Sky Survey) de cartographie volumétrique des galaxies dans une portion du ciel. Nous l'avions décrit dans la **partie précédente**.

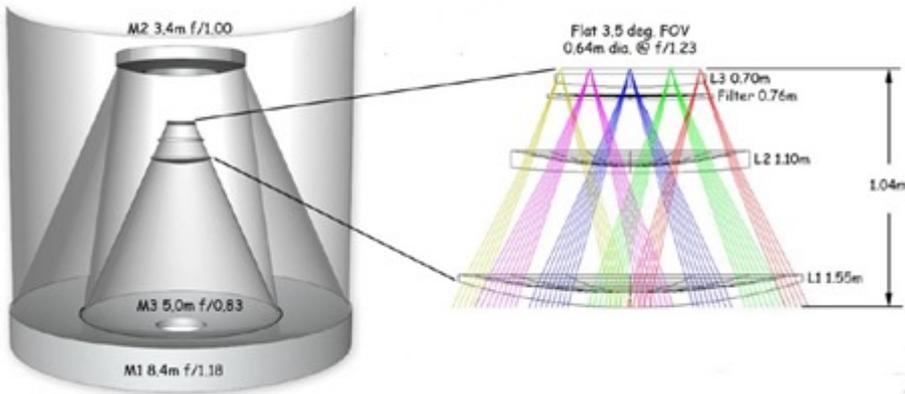
Ce télescope est en construction depuis 2015 au nord du Chili, à 2682 m d'altitude, sur le même site que Gemini South, le frère jumeau anglais de Gemini North qui est sur le site de Mauna Kea à Hawaï. Il est prévu qu'il voie sa première lumière en 2019 et qu'il soit pleinement opérationnel à partir de 2022.



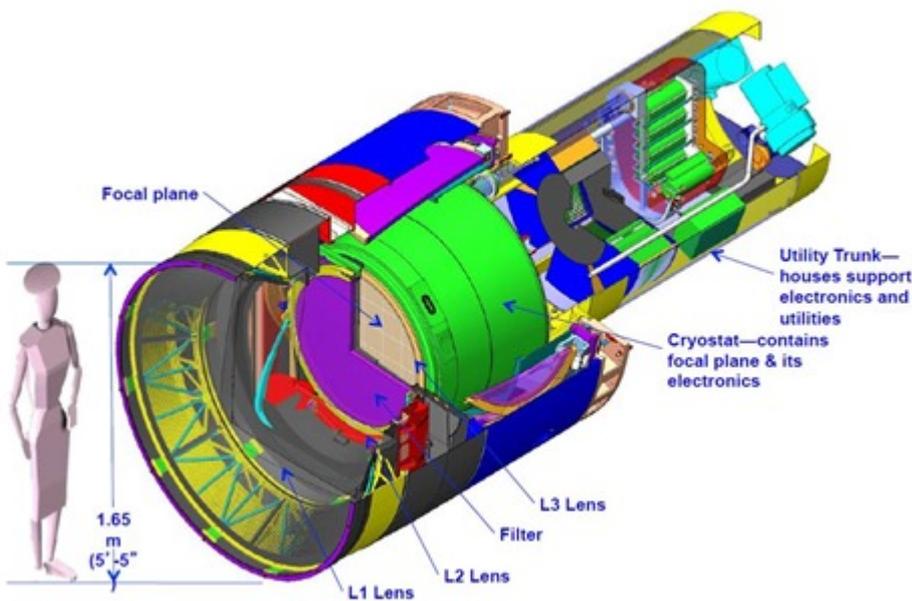
Les objectifs scientifiques du LSST sont décrits dans ce **document de 2009** qui fait 596 pages. Il s'agit essentiellement de cartographier en 3D un maximum d'objets célestes allant du système solaire aux confins de l'Univers.

Pendant une dizaine d'années, le télescope devra capter 4 milliards de galaxies (sur les 2000 milliards que compterait l'Univers visible et pour mener des recherches sur les lois qui régissent l'existence ou l'inexistence de l'énergie et de la matière noires...), 10 millions de supernovas, un million de lentilles gravitationnelles, 10 millions d'étoiles de la Voie Lactée pour en faire une cartographie précise (sur les 200 milliards qu'elle doit compter), et dans le système solaire, environ 90% des "near earth objects" (astéroïdes, comètes) descendant à une taille de 140 m.

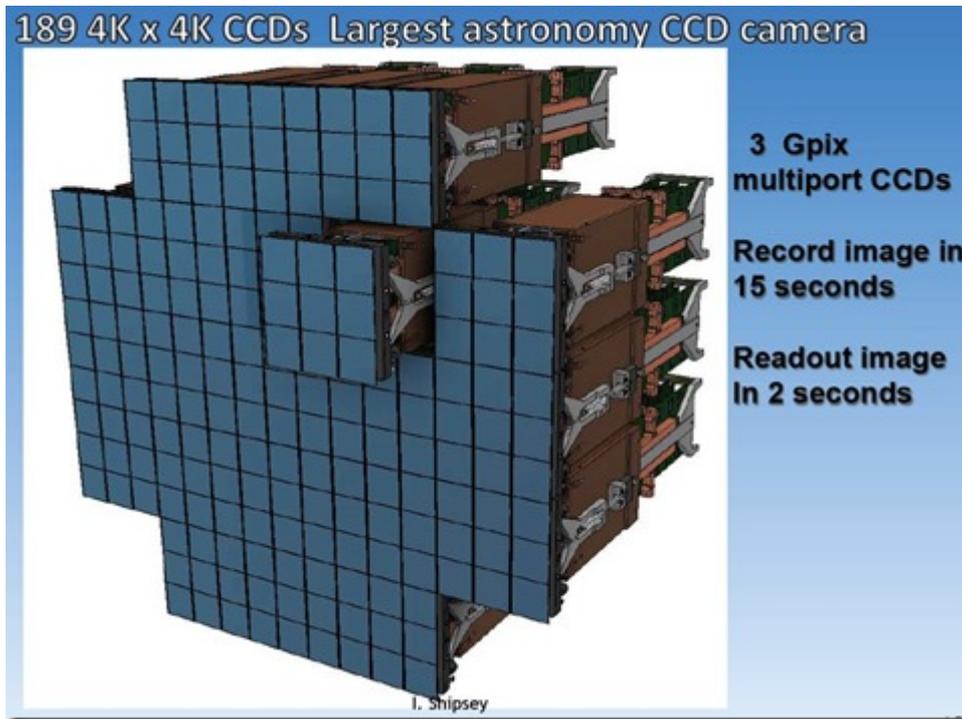
Son champ de vision est très large pour un télescope : $3,5^\circ$, contre $0,2^\circ$ pour le télescope Keck. $3,5^\circ$, c'est environ sept fois l'angle apparent de la Lune dans le ciel. Son dispositif de miroirs est très original. Il est constitué d'une série de miroirs annulaires qui permet d'avoir un design très compact. Le miroir primaire de 8,4 est annulaire et d'un seul tenant (M1). Il envoie sa lumière vers un miroir secondaire convexe M2 de 3,4 de diamètre qui est lui aussi annulaire. Et puis vers un miroir tertiaire M3 de 5 mètre positionné dans le trou du miroir M1. Enfin, M3 alimentera en haut du télescope le module d'instruments de captation. M1 et M3 ont été construits en même temps, d'une seule pièce, entre 2008 et 2014.



Contrairement à nombre de grands télescopes, l'instrumentation du télescope est unique. Il s'agit d'un système de captation d'image dans le visible installé dans le plan focal du télescope et faisant un record de 3,2 gigapixels, généré par l'assemblage de 189 capteurs CCD. Point de spectrographe ou de coronographe au programme ! C'est la plus grande caméra créée à ce jour. Elle captera des images du ciel pendant des poses de 15 secondes et toutes les 20 secondes. Le LSST va photographier l'intégralité du ciel chaque nuit en le balayant méthodiquement !



L'optique adaptative est gérée jusqu'aux capteurs CCD dont le mouvement est contrôlable avec précision. La caméra comprend un système de six filtres de couleur couvrant le spectre lumineux visible. Les capteurs CCD sont relativement classiques et font 4Kx4K pixels. L'intégrateur en charge de la fabrication de cette caméra est le SLAC National Accelerator Laboratory.



L'activité stakhanoviste de ce télescope va entraîner la génération d'énormes volumes de données à transmettre, stocker, traiter et partager. Chaque prise génère 6 Go (2 octets par pixel capté). Chaque nuit va donc générer 15 To d'images brutes (RAW), dont 4 To à conserver en archives, et chaque année, 6,8 Po. Elles seront stockées et gérées dans un datacenter du NCSA, le National Center for Supercomputing Applications, dans l'Illinois aux USA. Ses capacités de calcul devront excéder 100 TFlops. Ce qui sur le papier n'a plus rien d'extraordinaire puisque c'est la puissance de calcul théorique de la carte Nvidia Tesla V100 avec son processeur GV100, annoncée au printemps 2017.

Le projet a été financé par la NSF (\$466m, pour le télescope et la gestion des données), le Département de l'Energie US (\$163m pour la caméra), et des financements privés (\$40m, provenant notamment des milliardaires Bill Gates et Charles Simonyi, ex-Microsoft). La NSF va financer ensuite les opérations sur 10 ans pour \$270m, complétés de financements étrangers pour \$100m.

Giant Magellan Telescope

Ce télescope sera aussi unique en son genre et combinera 7 miroirs traditionnels de 8,4 m de diamètre et 20 tonnes, comme ceux du LBT d'Arizona, et totalisant un diamètre de 25,4 m. Sa conception a été initialisée en 2003 et sa construction a été lancée en 2015. Il est installé au Chili près du désert d'Alacama et à 2550 m d'altitude. Son exploitation démarrera progressivement en en 2022 avec 4 miroirs opérationnels puis avec les 7 miroirs en 2025. Il s'écoulera donc plus de 20 ans entre la conception et l'utilisation ! Un cycle aussi long que dans les biotechs. Le projet est d'envergure internationale, piloté par les USA et avec des contributions coréennes. D'ailleurs, le terrassement sur lequel il est construit comprend la place pour installer un second télescope du même genre à ses côtés et installer un interféromètre reliant les deux télescopes. D'ici 2030/40... !



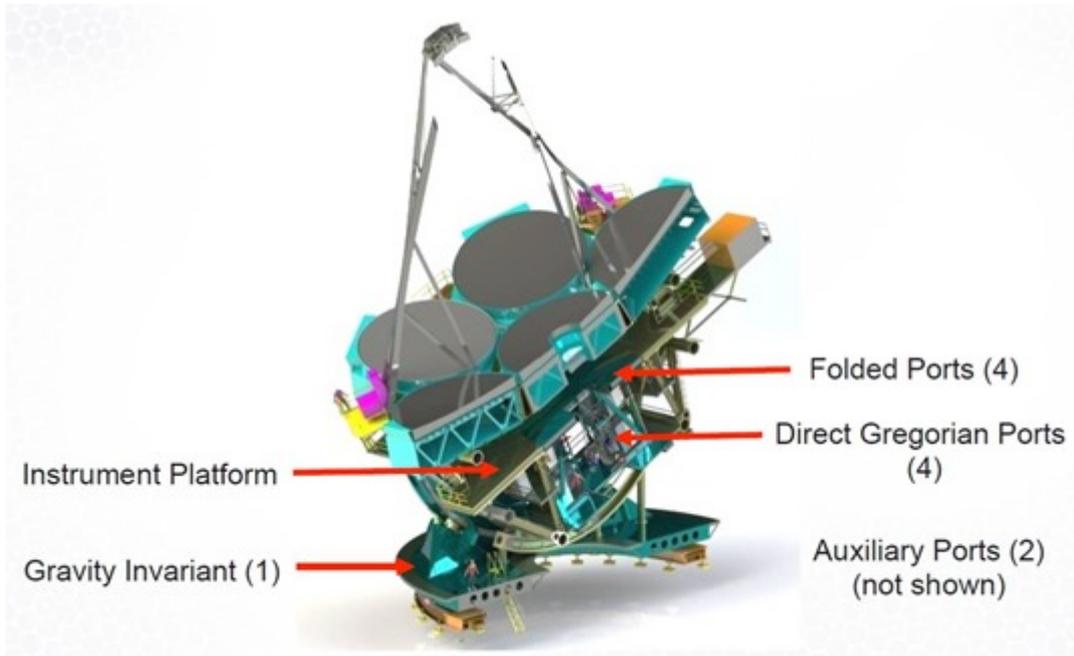
L'ambition scientifique de ce télescope original est décrite dans le détail dans **Giant Magellan Telescope Scientific Promise and Opportunities** qui date de 2012 (132 pages).

L'un des principaux objectifs de ce télescope est la détection des premières galaxies de l'Univers (première lumière et période de la réionisation). Mais comme de nombreux grands télescopes, les objectifs sont multiples et redondants avec d'autres télescopes géants : compréhension des trous noirs, cycle de vie des galaxies, constitution des étoiles, et recherche d'exoplanètes).

L'une des nouveautés de ce télescope est son très sophistiqué système d'optique adaptative. Il utilise tout un tas de lasers, dont un LGS (Laser Guidance System) de 6 lasers au sodium créant une mosaïque d'étoiles fictives dans la mésosphère permettant de tenir compte de l'impact de l'atmosphère à plusieurs altitudes. Ces lasers sont complétés d'autres lasers servant à l'alignement des segments de miroirs du M1 et du M2. Le miroir secondaire M2 est constitué de 7 segments de 1,06 m faisant un diamètre total de 3,2 m. Chaque miroir est positionné à 10nm près par trois vérins et leur surface contrôlée par 4704 positionneurs. L'ensemble est bien décrit dans **Adaptive Optics for the Giant Magellan Telescope** de Marcos van Dam (37 slides).



Les instruments qui récupèrent la lumière du télescope sont situés en dessous de celui-ci, dans la position dite grégorienne. Un troisième miroir, le M3, est orientable et envoie la lumière vers celui des instruments qui est utilisé. Un seul peut l'être à la fois.

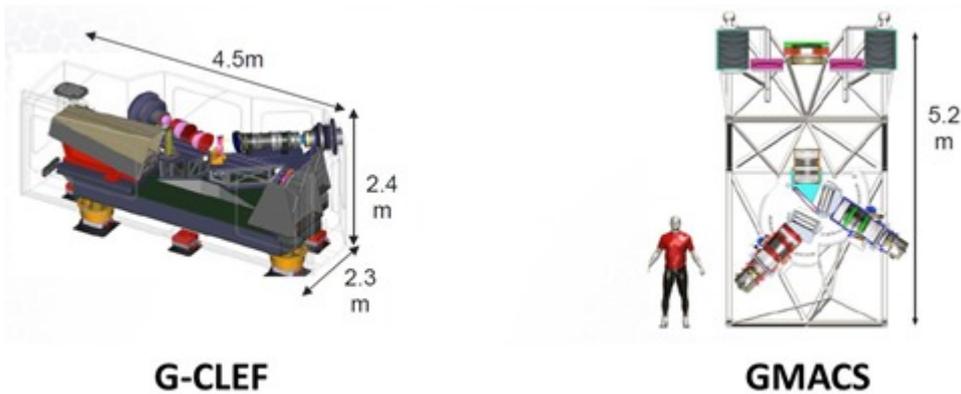


Voici la liste de ces instruments :

| Name | Capability | Wavelength Range | AO Mode |
|-----------------|----------------------|------------------|-------------------------|
| G-CLEF | Visible Echelle | 0.35 – 1.0 | Seeing-limited |
| GMTNIRS | Near-IR Echelle | 1.2 – 5.0 | Diffraction-limited |
| GMACS | Visible MOS | 0.35 – 1.0 | Seeing-limited |
| NIRMOS | Near-IR MOS | 0.85 – 2.5 | Ground-layer AO |
| GMTIFS | Integral Field Spec | 0.9 – 2.5 | Diffraction-limited |
| TIGER | mid-IR planet imager | 1.5 – 10.0 | NGS diffraction-limited |
| MANIFEST | Fiber-Feed system | -- | Instrument dependant |

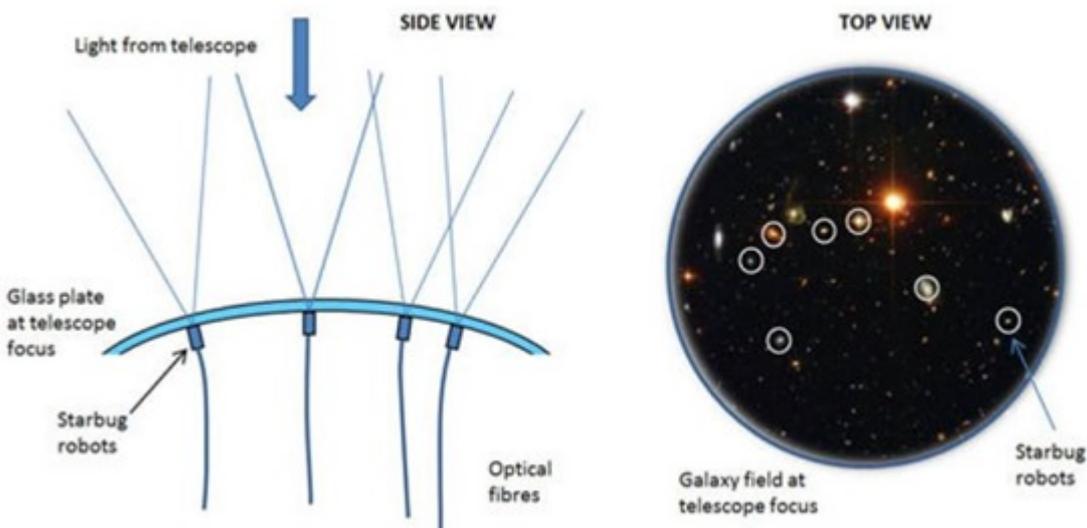
Avec tout d'abord, les instruments optiques :

- **G-CLEF** (GMT Chicago Large Earth Finder) : un spectrographe à haute résolution spectrale dans le visible alimenté par fibre optique. Il est dédié à la recherche de grandes exoplanètes et à l'évaluation de la distribution de matière noire dans les galaxies naines. Il est capable de mesurer avec une très grande précision la vitesse de mouvement des étoiles. Notamment celle qui est générée par la rotation des planètes autour d'elles.
- **GMACS** : un spectrographe multi-objets à double faisceaux dans le visible (pour le rouge et le bleu). Le mode multi-objet fonctionne avec 12 masques de sélection débouchant sur une segmentation en 80 parties de l'image issue de chaque masque. Il peut aussi être alimenté par les fibres optiques issues du MANIFEST. Il analyse l'évolution des étoiles et la composition des galaxies.



Puis les instruments couplés à l'optique adaptative :

- **GMTIFS** (GMT Integral Field Spectrograph) : un spectrographe qui découpe l'image en tranches avec un système à micro-miroirs. Il analyse l'histoire chimique des galaxies et évalue la masse des trous noirs.
- **GMTNIRS** (GMT Near-IR Spectrometer) : un spectromètre dans le proche infrarouge. Il analyse l'atmosphère des exoplanètes par la méthode des transits, la composition chimique des étoiles et des nébuleuses ainsi que l'histoire chimique des galaxies.
- **MANIFET** : un système de captation de la lumière doté de 2000 fibres optiques mobiles dans le champ de focale. Il alimente notamment le spectrographe multi-objets GMACS.



Et pour le futur :

- **NIRMOS** (Near-IR Multi-Object Spectrograph) : un spectrographe dans le proche infrarouge couplé à l'optique adaptative dédié à l'analyse de galaxies éloignées.
- **TIGER** (Thermal IR imager) : un imageur qui va cibler les exoplanètes et disques protoplanétaires opérant dans l'infrarouge moyen.

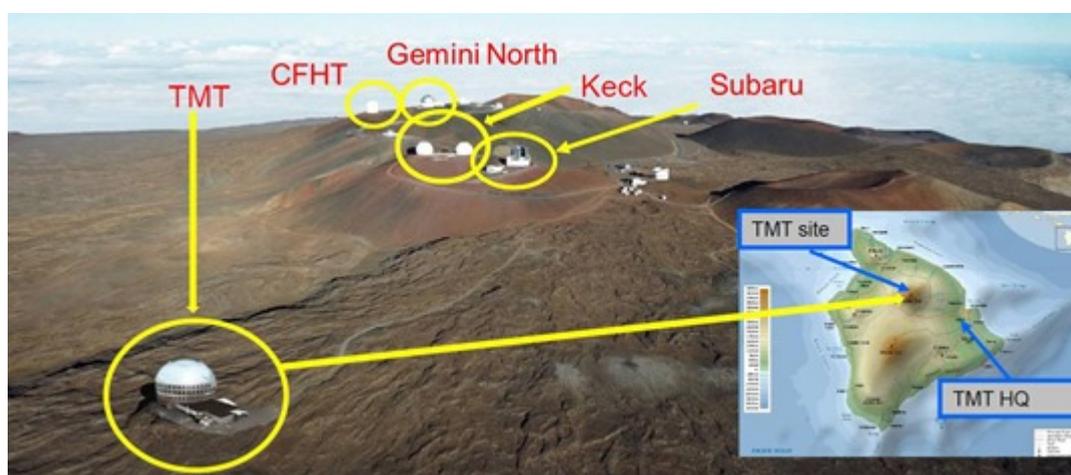
Thirty Meter Telescope

C'est un télescope doté d'un miroir primaire de 30 m issu d'un partenariat international associant un grand

nombre de pays de la zone Pacifique.

Avant de rentrer dans la dimension scientifique et technique, évoquons une péripétie de ce projet : il doit être installé sur le site de Mauna Kea à Hawaï. Seulement voilà, le projet a été attaqué en justice par les associations représentant les natifs d'Hawaï qui veulent sauvegarder le site de construction qui est fortement symbolique pour leur culture et religion. Ces associations ont temporairement obtenu gain de cause via un arrêt de la Cour Suprême de Hawaï qui a stoppé net fin 2015 les travaux de terrassement qui avaient tout juste démarré. Sur un vice de forme de l'appel à projet ! S'y ajoutent des manifestations ininterrompues sur le site. C'est en quelque sorte le Notre Dame des Landes du télescope !

La décision est toujours en suspens, en attente d'une **autre décision** de la Cour Suprême de l'Etat de Hawaï qui pourrait intervenir d'ici fin 2017. L'ironie de l'histoire est que l'emplacement prévu du TMT est situé à quelques encablures de télescopes déjà implantés depuis des décennies : l'Américain Keck. l'Anglais Gemini North, le Japonais Subaru et le Franco-Canadien CFHT (*cf la photo du site ci-dessous*) ! Et sur un site en apparence dénué de toute végétation.



Le site de Mauna Kea est le meilleur de tous pour les télescopes car il est à plus de 4000 m d'altitude et qu'il y a peu d'humidité et de poussière. Si la construction ne peut être lancée à Mauna Kea, elle aura probablement lieu sur le site des Iles Canaries, qui est cependant moins satisfaisant côté altitude, poussière et humidité. Reste aussi ceux du Chili.

Malgré ces déboires, la construction des éléments du télescope est évidemment déjà lancée, notamment au niveau du miroir et des instruments. Qu'il s'agisse de Mauna Kea ou d'un autre site, les travaux de terrassement et la construction du télescope devrait démarrer quelque part, en 2018. Avec une "première lumière" en 2022 dans le meilleur des cas !

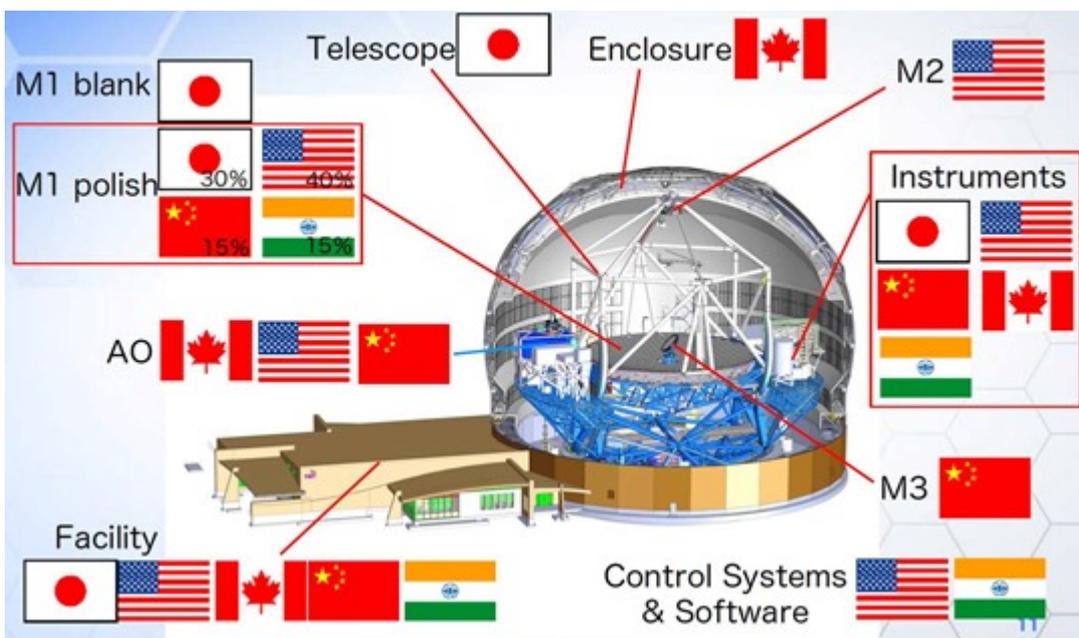
Comme pour chaque grand projet de télescope, un document décrit ses nombreux objectifs scientifiques, compilés par des comités internationaux d'astronomes. Il s'agit de **Detailed Science Case: 2015 Thirty Meter Telescope** (201 pages). Ce télescope servira à contribuer à répondre aux questions suivantes : quelle est la nature de la matière et de l'énergie noire qui expliquent la cohésion des galaxies ? Comment les galaxies se forment et évoluent ? Quel est le rôle des trous noirs dans la croissance des galaxies ? Comment se forment les étoiles et les planètes ? A quoi ressemblent les exoplanètes ? Est-ce qu'il existe de la vie quelque part dans l'Univers ? Le télescope servira aussi à ses heures perdues à observer le système solaire et les satellites de planètes éloignées, sans compter les astéroïdes et les comètes.

La forme particulière du dôme avec ses fenêtres ouvertes sur les côtés a été étudiée pour bien résister au vent et permettre son écoulement au-dessus du dôme et à l'intérieur de celui-ci via les fenêtres.



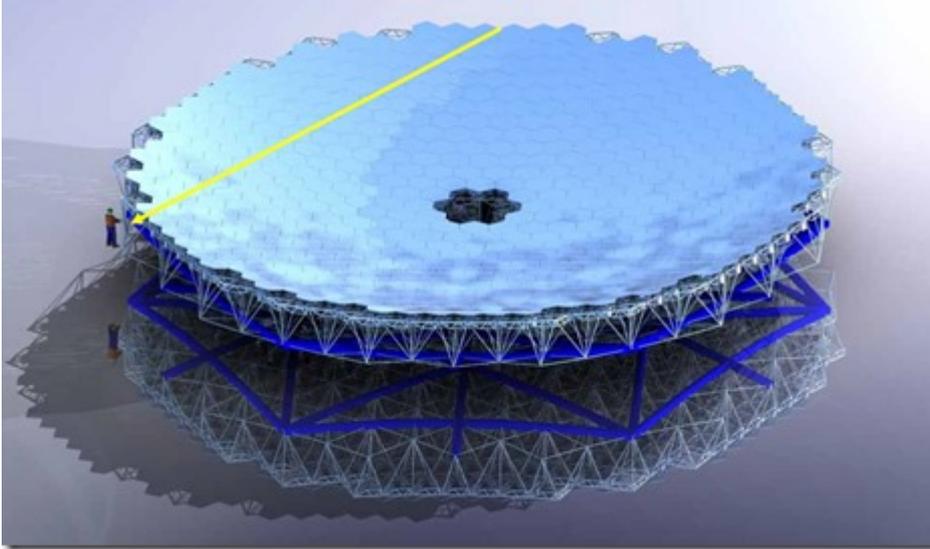
C'est un projet très international qui associe la Californie, la Canada, la Chine, l'Inde et le Japon. Le coût du télescope est estimé à \$1,5B.

Le Canada réalise le bâtiment et les portes coulissantes et contribue à la fabrication de divers instruments scientifiques (IRIS OIWFS). Le Japon fabrique la structure du télescope (Mitsubishi Electric Corp, MELCO), polis les miroirs chez Canon et fabrique la caméra des instruments IRIS et MOBIE. La Chine réalise le miroir M3, le système de guidage laser qui exploite un laser Allemand et les systèmes de refroidissement. Elle contribue au MOBIE et au AGWFS. La Suisse planche sur l'IRMS. L'équipement du télescope est réalisé en Inde notamment au niveau mécanique et capteurs. Les USA planchent sur les instruments MOBIE, IRIS et IRMS. Enfin, l'optique adaptative réalisée dans différents endroits (Allemagne, Chine, USA, Canada). Cela fait une belle coordination au programme pour que tout se goupille bien !

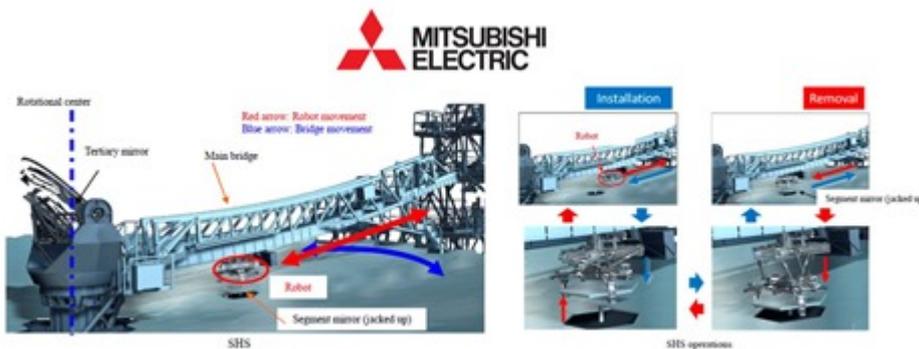


[l'une des sources de nombre des schémas intégrés est **The Thirty Meter Telescope: How California, Canada, China, India and Japan are Working Together to Build a Next Generation Extremely Large Telescope** de Gary H Sanders, du SLAC National Accelerator Laboratory (2013)]

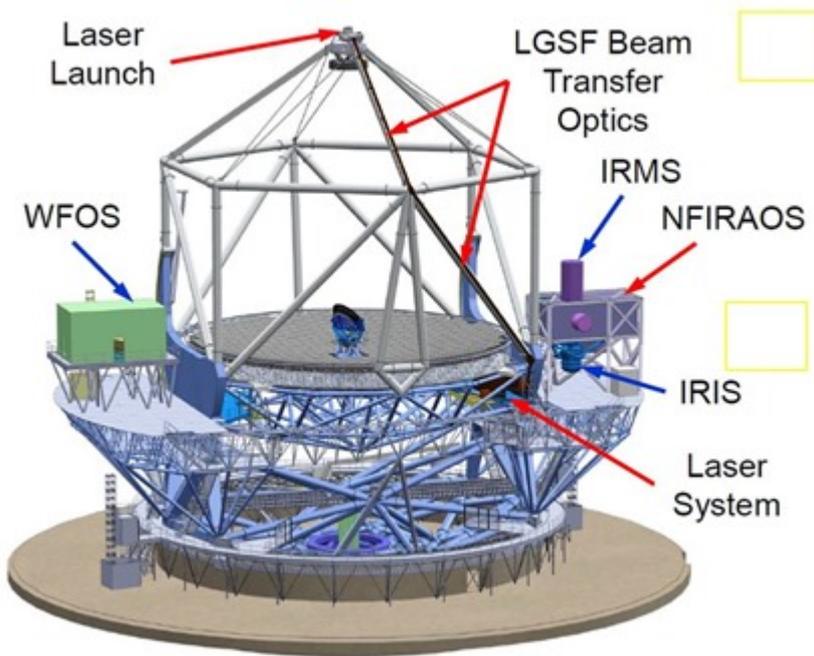
Le miroir primaire de 30 mètres du télescope – soit la taille d'un terrain de basketball – est constitué de 492 segments de 1,42 m de diamètre, mais de 82 types et formes différentes, en verre de céramique de 45 mm d'épaisseur et pesant chacun 250 kg. L'optique adaptative est activée sur ce miroir primaire avec trois vérins et deux capteurs de position par miroir, ce qui fait un total de 1476 vérins et 2772 capteurs. Voilà un peu d'économies d'échelle ! Ces 492 miroirs ont déjà été polis... en 2012 ! Le système reprend en plus grand la conception des miroirs de l'observatoire Keck lancé dans les années 1990.



A noter que Mitsubishi a construit un robot de maintenance suspendu à un bras radial situé au-dessus du miroir primaire qui sert à remplacer les segments défectueux (*ci-dessous*). Il faut en effet prévoir la maintenance de l'ensemble. Les miroirs ne sont pas éternels !

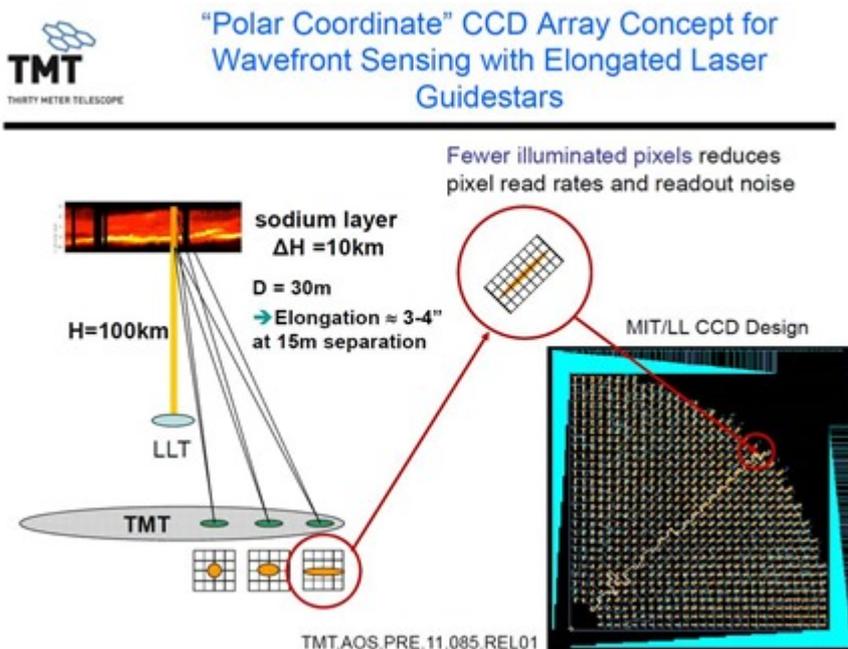


Le miroir secondaire (M2) fait 3,1 m, ce qui est la taille d'un bon télescope ! Il fait 10 cm d'épaisseur. Au centre du miroir principal se trouve un troisième miroir articulé (M3) de 2,5×3,5m qui envoie la lumière captée vers les instruments situés sur l'un des deux côtés du télescope. M3 fait aussi 10 cm d'épaisseur. Il peut très rapidement choisir les instruments d'un côté ou de l'autre du télescope. M2 est fabriqué en Californie et M3 en Chine.



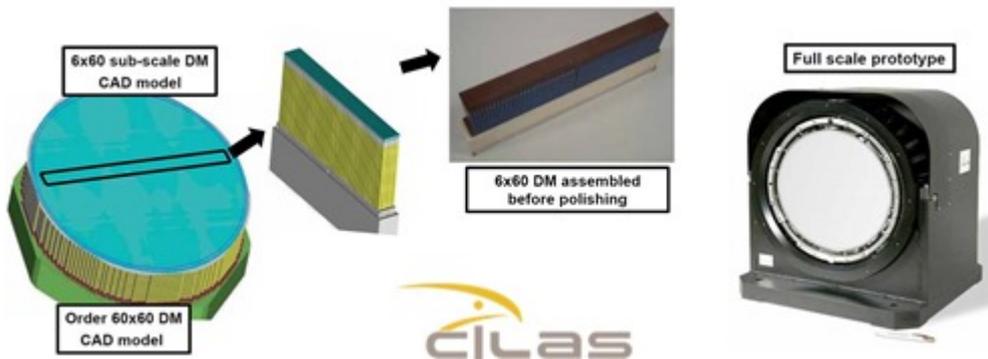
Les instruments d'observation prévus pour le TMT sont voisins de ceux que l'on trouve dans les télescopes généralistes déjà évoqués :

- **LGSF** (Laser Guide Star Facility) : le système de guidage laser d'origine chinoise. Il utilise plusieurs faisceaux qui créent quatre formes différentes d'astérisques, chacune d'entre elles étant dédiée au calibrage de l'un des systèmes d'optique adaptative du télescope. Ce LGSF utilise un type de capteur CCD un peu particulier avec des pixels organisés en rectangles arrangés de manière polaire. Cela améliore la précision de la détection des points d'astérisques correspondant aux étoiles fictives créées par les lasers au sodium dans la mésosphère.

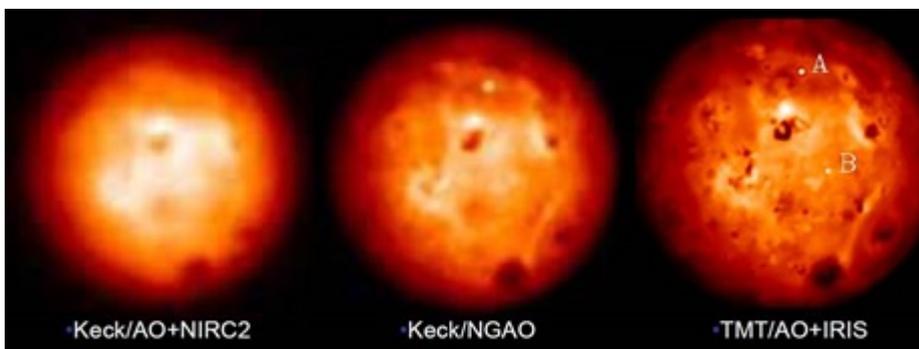


- **NFIRAOS** (Narrow Field IR AO System) : l'outil de calibrage de l'optique adaptative, provenant du Canada. Le miroir adaptatif secondaire (M2) a été réalisé en France chez CILAS, une PME d'Orléans. La

France n'étant pas l'un des financeurs du projet, CILAS n'est qu'un fournisseur. Cette PME créée en 1966 (Compagnie Industrielle des Lasers) est spécialisée dans l'optronique. Elle travaille beaucoup pour le CEA. Ses miroirs sont dotés de micro-vérins contrôlant leur forme. Il peut en avoir jusqu'à 5000. Et la correction peut intervenir à haute fréquence. Ces miroirs déformables sont déjà installés sur le VLTI, sur les télescope Gemini, sur le Grand Télescope des Canaries et sur le Subaru japonais.

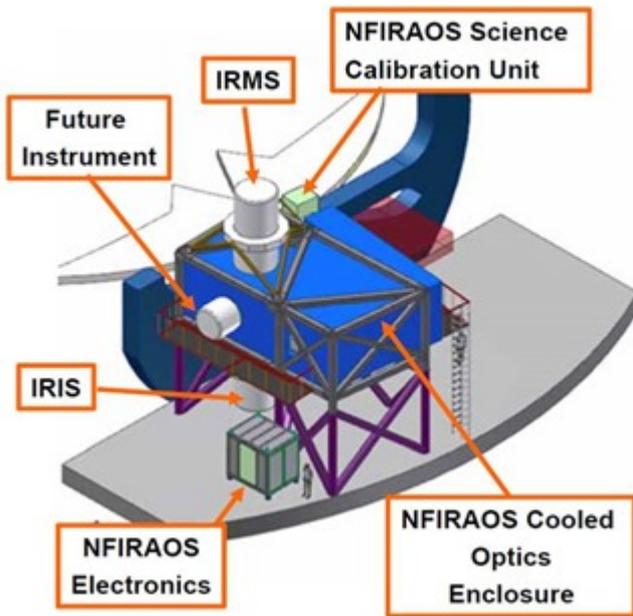


- **IRIS** (InfraRed Imager and Spectrometer) : un spectrographe et imageur dans le proche infrarouge, alimenté par l'optique adaptative NFIRAOS. Il permet de comprendre la formation des galaxies éloignées, celle des trous noirs et l'organisation du centre de la Voie Lactée. L'exemple dessous, qui est une simulation, illustre la différence entre une photo dans l'infrarouge du satellite Io de Jupiter avec le télescope Keck et son optique adaptative initiale, puis avec sa nouvelle optique adaptative et enfin avec le TMT, son optique adaptative et l'IRIS. La résolution est de 25 km sur ce satellite qui se trouve à 5 Unités Astronomiques (UA) de la Terre.



Simulations of Io Jupiter-facing hemisphere in H band (Courtesy of Franck Marchis)

- **IRMS** (InfraRed Multislit Spectrometer), un spectromètre multi-objets également dans le proche infrarouge, également alimenté par le NFIRAOS. Il permet l'analyse des débuts de l'Univers et des premières galaxies. Cet instrument reprend la conception du MOSFIRE du télescope Keck. L'IRMS et l'IRIS sont situés sur l'un des côtés du télescope et alimentés par le miroir orientable M3. Le schéma ci-dessous explique l'arrangement de l'optique adaptative NFIRAOS, de l'IRIS et de l'IRMS. A noter la taille d'une personne en bas qui illustre celle de ces instruments.



- **WFOS** (Wide-field Optical Spectrometer and imager), aussi dénommé **MOBIE** (Multi-Object Broadband Imaging Echellette), un spectrographe à large champ couvrant l'UV et le visible. Ses masques permettront d'observer 200 d'objets simultanément. Il sert à comprendre la constitution des galaxies éloignées. L'instrument est sur l'autre côté du télescope en vis à vis de l'ensemble NFIRAOS / IRIS / IRMS.

Sachant que d'autres instruments sont prévus après la mise en service du télescope : **IRMOS** (Multi-IFU near-IR spectrometer pour la détection de la première lumière de l'histoire de l'Univers), **NIRES** (Near-IR AO-fed échelle spectrometer pour la détection d'exoplanètes autour d'étoiles naines et la compréhension de la chimie des étoiles), **MIRAO** et **MIRES** (Mid-IR AO-fed Echelle Spectrometer pour l'analyse de l'origine de la masses des étoiles, l'accrétion de matière autour des étoiles naissantes et évolution des disques planétaires), **PFI** (Platform Formation Instrument, pour la détection directe et l'analyse spectroscopique d'exoplanètes), **HROS** (High-Resolution Optical Spectrometer, pour la recherche d'exoplanètes par effet Doppler) et le **WIRC** (wide-field AO imager, pour analyser le centre et les étoiles de la Voie Lactée).

Pour ce qui est du logiciel, la documentation précise qu'ils sont réalisés en Scala, Java et Python et qu'ils tournent sur des dérivés de Linux : CentOS et Scientific Linux. Windows est interdit, sauf pour certains postes de travail de développement !

European Extremely Large Telescope

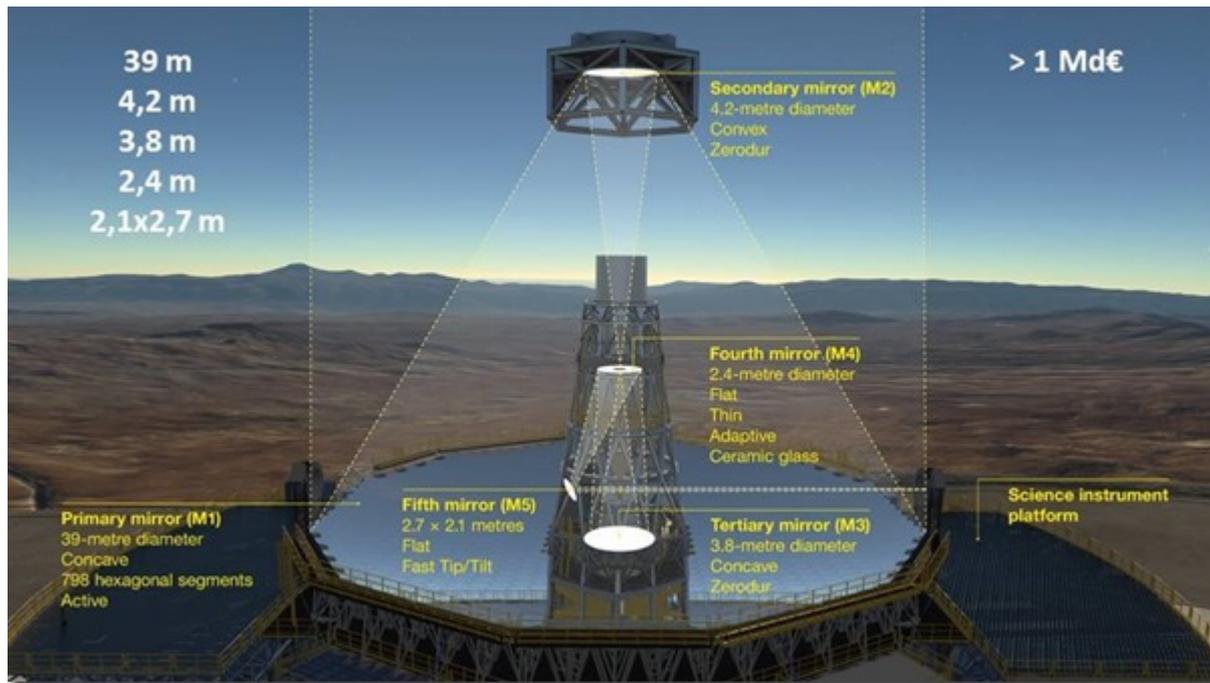
Le dernier télescope géant de cet inventaire est le plus grand ! Son miroir de 39,3 mètres de diamètre bat tous les records de taille des télescopes en cours d'achèvement. Du côté du lieu de construction, aucun soucis : il est au Chili sur l'observatoire de Silla dans le désert d'Atacama, là où les permis de construire sont plus faciles à obtenir qu'à Hawaï. Les travaux de terrassement ont d'ailleurs **démarré** fin mai 2017, à 2400 m d'altitude. La mise en service est prévue pour 2024.

Ce télescope est sous l'égide de l'organisation Européenne ESO qui a déjà sous ses ailes le VLT du Chili, vu dans l'épisode précédent ainsi, pas loin, de l'ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), un radiotélescope interféromètre. L'European Southern Observatory est financé et supporté par 15 pays dont... le Royaume Uni. Le budget dépassera 1Md€ (un milliard d'Euros issus de financements publics).



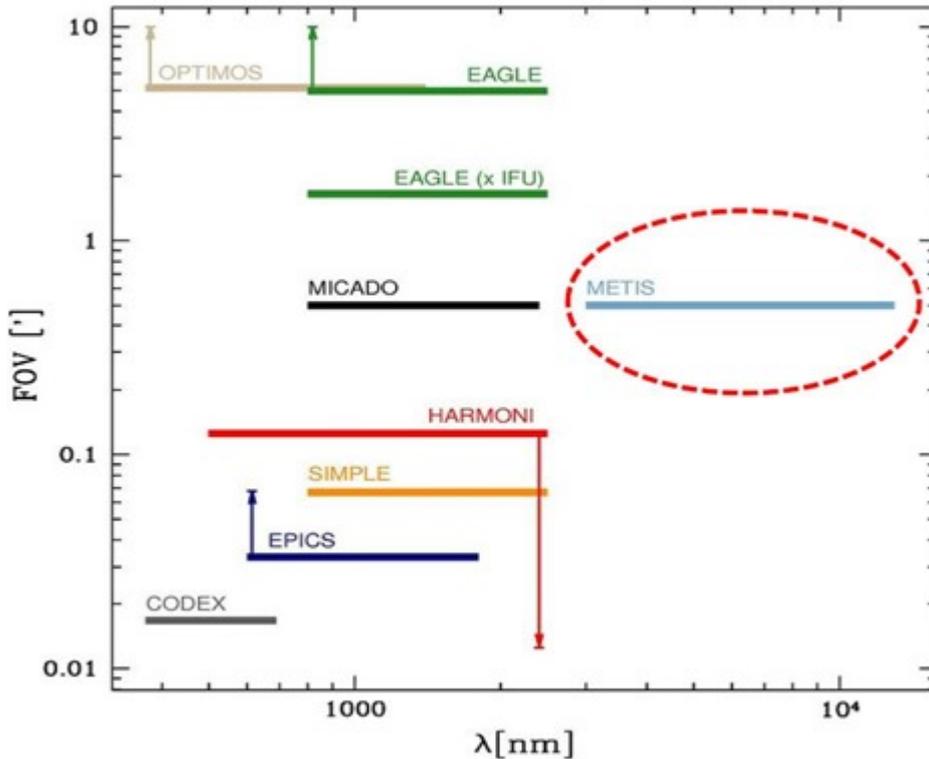
Le **programme scientifique** (148 pages, 2005) de l'E-ELT est un catalogue à la Prévert de toutes les questions que se posent les astronomes et que nous avons déjà parcourues pour les autres télescopes dans l'**épisode précédent**. En gros, tout est au programme ! A ceci près que la demande des scientifiques était de créer un télescope de 50 à 100 mètres. Les contraintes économiques et technologiques ont fait atterrir le projet sur du presque-raisonnable avec un miroir de 39,5 mètres. Déjà quatre fois plus gros que le record existant ! Mais largement de quoi occuper les astronomes dans la recherche d'exoplanètes, étoiles et galaxies.

Le **programme de construction** (263 pages, 2010) détaille tous les aspects d'ingénierie du projet dont sont tirées une bonne part des informations ci-dessous. L'ESO a même créé un **trailer vidéo** de présentation du télescope.

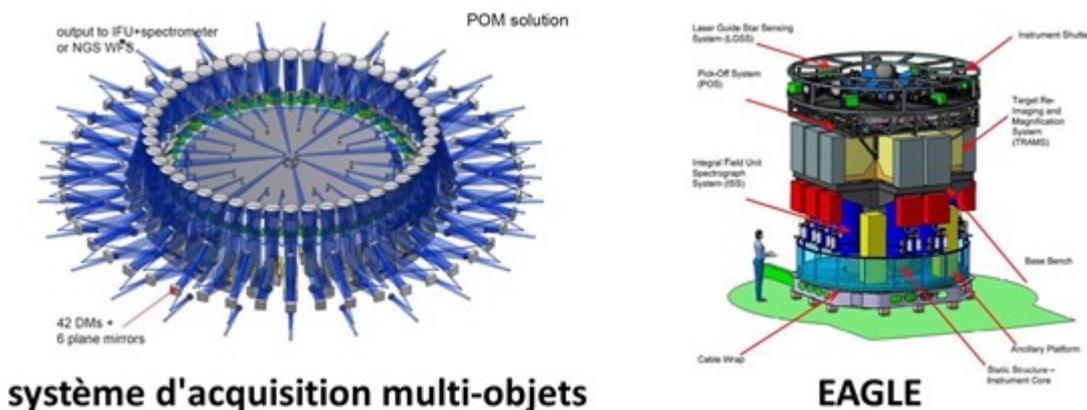


L'optique E-ELT est construite sur un système à base de cinq miroirs. Le miroir principal de l'E-ELT est composé de 798 segments hexagonaux de 1,5 mètre, ceux-ci ne faisant que 5 cm d'épaisseur. Ils sont en vitrocéramique et de forme asphérique. Le miroir secondaire fait 4,2 mètres, ce qui en ferait le 24e plus grand télescope terrestre à lui tout seul ! Les segments du miroir principal et de ce miroir M2 sont polis et testés par le français **Safran Reosc** dans un site situé à Poitiers. Le champ de vue (Field of View, FOV) du télescope fait le tiers d'une pleine lune. Suivent un miroir M3 de 3,8 m, puis un quatrième M4 de 2,4 m, doté de 5806 vérins adaptant sa forme jusqu'à 1000 fois par seconde pour tenir compte des perturbations de l'atmosphère détectées en temps réel par un système de guidage à base de 6 lasers, et enfin, un dernier miroir de 2,1x2,7 m qui envoie la lumière vers les instruments situés sur le côté du télescope. L'ensemble du système est à optique adaptative est conçu avec des serveurs DGX-1 de Nvidia exploitant leurs GPU.

Les instruments optiques prévus pour l'E-ELT sont nombreux comme il se doit. Ils se positionnent sur des bandes de fréquences et des champs de vision différents (*schéma ci-dessous*).



- **CODEX** : un spectrographe optique à champ étroit dans le visible et à haute résolution spectrale de 130 000 (nombre de raies générées dans le spectre). Il est équipé de quatre capteurs CCD de 9Kx9K pixels. Deux pour le bleu et deux pour le rouge. Une bien belle résolution qui annonce d'excellentes images !
- **EAGLE** : un spectrographe à champ large multi-objets dans le proche infrarouge. Il est dédié à l'observation des premières galaxies, à l'étude de la formation des étoiles et à la croissance des trous noirs et des galaxies. Il reprend le concept du spectrographe KMOS du VLT vu dans l'article précédent, exploitant 42 miroirs captant une partie du champ visuel à analyser. Cet instrument est réalisé par le Laboratoire d'Astronomie de Marseille, l'ONERA et l'Observatoire de Paris, en collaboration avec des centres de recherche anglais.

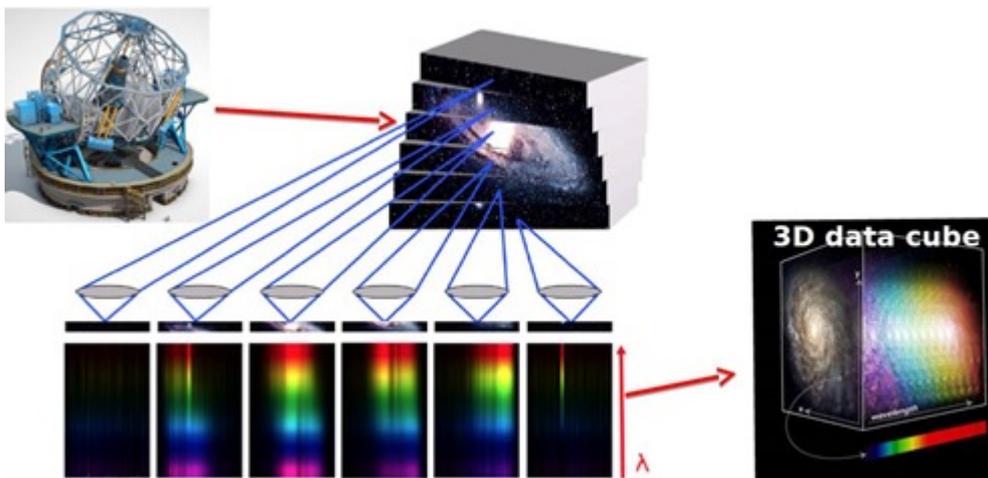


système d'acquisition multi-objets

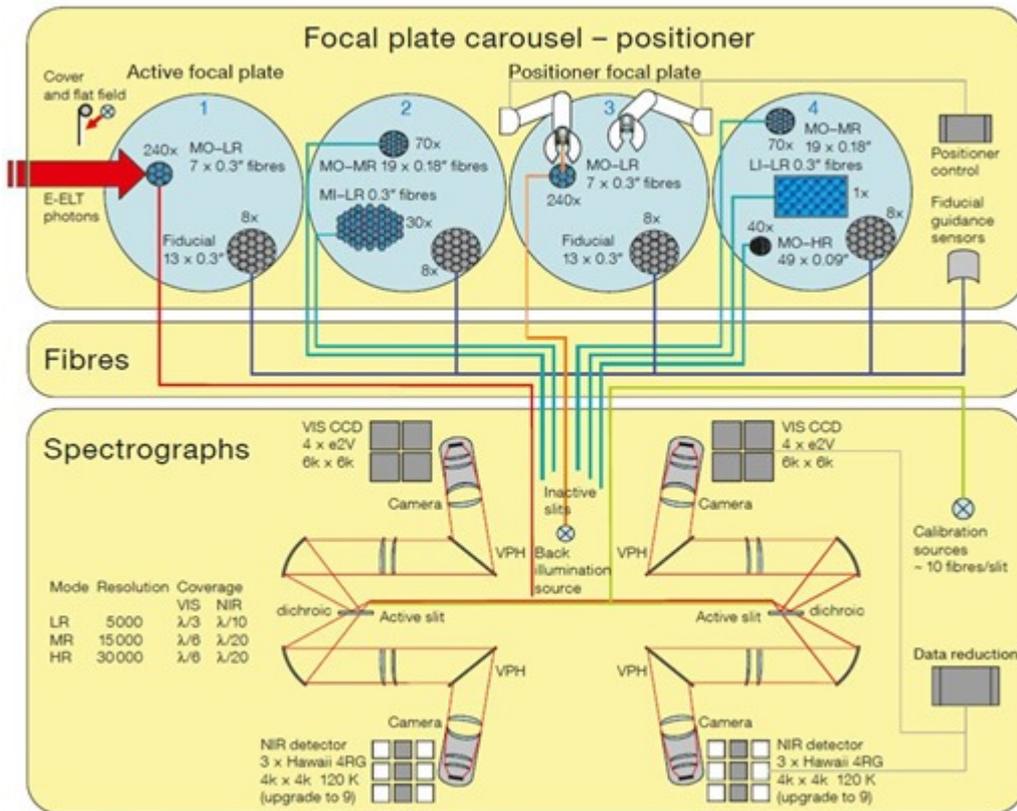
EAGLE

- **EPICS** : un imageur et spectrographe dans le visible et l'infrarouge couplé à l'optique adaptative et à un coronographe, adapté à la détection directe de planètes.
- **HARMONI** : un spectrographe large bande du visible au proche infrarouge. Il est réalisé avec le concours

du LAM de marseille, l'ONERA et le CRAL de Lyon.



- **METIS** : un imageur et spectrographe dans l'infrarouge moyen. Il présente l'avantage d'avoir une très bonne résolution et une grande sensibilité. Il contient un coronographe permettant la détection directe d'exoplanètes et l'analyse de leur atmosphère. La spectroscopie peut être réalisée avec une grande résolution spectrale, de 100 000 raies. Le CEA a participé à sa conception.
- **MICADO** : une caméra dans le rouge et le proche infrarouge comprenant aussi un spectrographe, alimentant quatre CCD de 2Kx2K pixels. Il bénéficie aussi de contributions françaises (LESIA, GEPI, IPAG).
- **OPTIMOS** : un spectrographe multi-objet à large champ, alimenté par blocs de fibres optiques positionnables mécaniquement.



- **SIMPLE** : un spectrographe à haute résolution spectrale (130 000 raies) dans le proche infrarouge. Il servira à l'analyse de l'atmosphère des exoplanètes par la méthode des transits et au milieu intergalactique très éloigné.

Nul doute que les découvertes que fera ce télescope des records feront avancer la science. Rendez-vous aux alentours de 2024 pour découvrir ses premières images !

Voilà pour les télescopes optiques terrestres. Dans le **prochain épisode**, nous allons explorer le très vaste domaine des radiotélescopes ! J'y ai fait de nombreuses découvertes en menant mes recherches d'informations. Notamment au niveau des radiotélescopes géants comme pour ceux qui opèrent dans les ondes millimétriques. Après, nous irons dans l'espace examiner les télescopes que l'on y envoie à grand frais.

Voici les pointeurs sur les douze épisodes de cette série dans leur ordre de parution :

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : l'Univers

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes terrestres

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : grands télescopes

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes géants

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : radiotélescopes

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : interféromètres

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans le visible

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans l'infrarouge

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans les rayons gamma, X et UV et ondes radio

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : les exoplanètes

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : entrepreneurs

Cet article a été publié le 4 juillet 2017 et édité en PDF le 19 mars 2024.

(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>