Compte rendu de la conférence du mardi 1er décembre 2020
« sur le Téléscope ELT : un œil géant de l'Europe sur l'infini »

Organisation : conférence organisée par **l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP) et relayée par le Pavillon des Sciences de Montbéliard (Pascal REMOND)**

Crise sanitaire et confinement obligent, nous avons réalisé ***une conférence numérique.***

Lieu - Horaire : nous pouvions suivre en direct cette conférence sur Internet via YouTube, en cliquant sur le lien que voici : **https://youtu.be/49H8RIPmC8U**

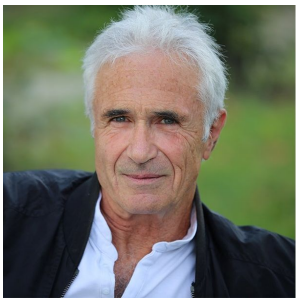
Nous pouvions interagir, poser des questions etc….

- mardi 1er décembre 2020 - De 19h30 à 21h00

Participation : 265 internautes étaient connectés en « live ».

Thème et Intervenants :

- **Conférence** animée **Daniel KUNTH,** Astrophysicien IAP



« L'œil géant de l'Europe sur l'infini » avec le ELT (Extremely Large Telescope)

par Joël VERNET, Astrophysicien responsable scientifique des projets MUSE et GALACSI à l'ESO

Thème : ***L'ELT ou Extremely Large Telescope,*** *est le plus gros télescope du monde actuellement en construction dans le désert d'Atacama au Chili. Avec ses 39 m de diamètre, ce télescope révolutionnaire permettra des avancées majeures sur toutes les grandes questions de l'astrophysique actuelle, des planètes aux premières galaxies de l'Univers. Je vous propose de plonger au cœur de ce projet titanesque et de découvrir quelques-uns des défis majeurs de cette extraordinaire aventure humaine et technologique.*

Compte-rendu non relu par le conférencier et n'engageant que son rédacteur.

Daniel KUNTH : présente la soirée : il s'agit de la **14ème conférence de l'IAP (Institut d'Astrophysique de Paris**). Il donne rendez-vous à la prochaine conférence (voir le thème et la date en fin de ce document). Il présente le **conférencier Joël VERNET responsable à l'ESO** qui a fait une thèse sur les Galaxies actives et radiogalaxies.
L'ESO (European Southern Observatory) est **l'Observatoire Européen Austral, au Chili.**

Joël VERNET : commence la soirée en disant sa fierté de nous présenter **l'ELT (Extremely Large Telescope), le plus grand télescope du monde en construction en ce moment pour l'Europe au Chili.** Ce projet montre très bien le lien qui existe entre les motivations scientifiques, la recherche de pointe et les technologies les plus pointues.

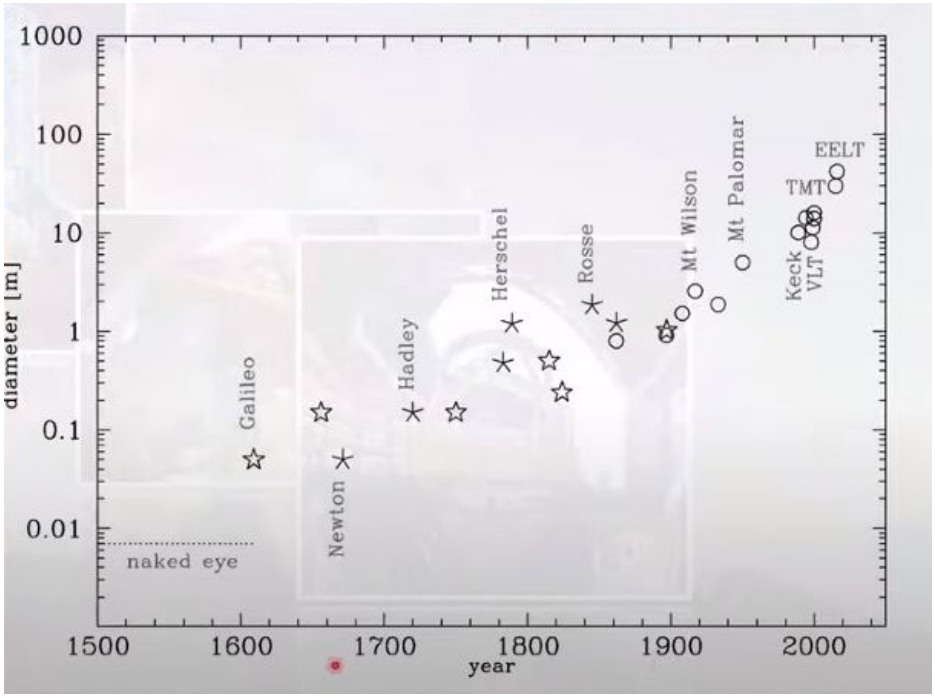
Les motivations d'un tel projet : l'astronomie se pose toujours des questions fondamentales. Parmi celles-ci, l'ELT peut permettre de répondre aux questions suivantes :

- La planète **terre est-elle unique** ?
- **Y-a-t-il une vie ailleurs ? C'est l'une des questions-clef pour l'ELT.**
- Comment se forment les **galaxies** ?
- Qu'est-ce que la **matière noire** ?

Un peu d'histoire : L'observation du ciel existe depuis la nuit des temps.

- **1609** : **Galilée** et sa lunette de diamètre de **lentille 5 cm** observe la lune.
- **1845** : le télescope de **William Parsons** a un diamètre de **lentille 1,8 m**
- **1917** : le **télescope Hooker (observatoire du Mont Wilson)**, a un diamètre de **lentille de 2,5 m.**
- **1948** : le **télescope du Mont Palomar** en Californie a un diamètre de **lentille de 5 m.** Il utilise une technologie de fabrication révolutionnaire.
- **1998** : le 21 septembre, un géant a ouvert l'oeil. Sur **le mont Paranal, dans les Andes chiliennes**, c'est la «première lumière» pour le premier des quatre télescopes de huit mètres du **VLT (Very Large Telescope), principal outil terrestre des astronomes européens avec des réflecteurs de 8,2 m de diamètre. Ce télescope est construit par L'ESO (European Southern Observatory)**

Le diagramme de Moore des télescopes



Ce diagramme montre les **diamètres en m des télescopes en fonction des années** depuis Galilée. Sur ce diagramme **l'ELT est appelé EELT, il a un miroir ayant le plus grand diamètre de tous (39m)**

Pourquoi un diamètre de lentille le plus grand ?

- parce que la **capacité de collecter de la lumière croît avec la surface de la lentille** (donc **en D^2** – D étant le diamètre)
- parce que **l'image d'un point de l'espace** n'est pas un point mais **une tache de diffraction** dont la surface est inversement proportionnelle au carré du diamètre du télescope (**en 1/ D^2**)
- parce que plus la tache est petite, **plus les détails sont fins et le signal plus concentré**
- parce que la **densité de flux lumineux par pixel, donc la sensibilité, varie comme D^4**

Mais l'atmosphère est turbulente ! Caractéristiques de l'ELT :

- il faut donc **corriger cette turbulence** : par utilisation d'une **optique adaptative**.
- **l'ELT est donc le plus grand télescope optique et infrarouge du m**onde avec son **miroir de 39m** de diamètre. **Ce télescope n'observe pas dans les ondes radio ni les rayons X**. Il a une **haute résolution** et une **forte sensibilité.**

Rappel :

La **résolution** est la capacité à voir des **détails** sur des images d'objets. La **sensibilité** est la capacité de détecter des **objets très petits**.

- **L'ELT est un télescope de masse 3400 tonnes**
- **Sa coupole a 115 m de base et 85 m de haut**
- **L'ELT est en construction au Chili sur le sommet du Mont Cerro Armazones** avec des **fournisseurs européens** (membres de l'**ESO**)
- Son **coût sera de 1,2 Milliards d'euros**.

L'ELT et le système solaire :

Joël VERNET : nous montre une **photo de Io, l'un des satellites de Jupiter. La photo a été prise au télescope VLT dans les années 2000.** Io est **à environ 600 millions de km de la terre** et la **surface de Io, observée au VLT est de 3600 km²**. **Avec l'ELT** on pourra voir nettement **des étoiles situées encore plus loin** et de l'ordre de **10 km de largeur**.

L'ELT vient en complémentarité des sondes spatiales et permettra un **suivi précis de l'activité volcanique** des planètes.

La vitesse de suivi du télescope est très importante et conduit à de **fortes contraintes technologiques**.

L'ELT et les exo-planètes :

L'ELT permettra la recherche et l'observation de ces exo-planètes, planètes **jumelles de la terre**, situées seulement **à 0,1 seconde d'arc de leur étoile**, le **contraste étant énorme entre l'exo-planète et son étoile** (un **facteur d'un milliard de fois plus grand**). **Cela revient à faire l'image d'une diode LED située à 200 km !**

L'ELT permettra d'observer de la spectroscopie pour **détecter s'il y a des traces de vie sur la planète.** Ce fait scientifique fixe un diamètre du télescope à près de 40m, cas atteint par l'ELT. On va donc pouvoir de façon certaine détecter s'il y a des traces de vie ailleurs que sur terre.

L'ELT et les trous noir :

L'ELT va pouvoir **mesurer la position des étoiles qui tournent au tour du trou noir placé au centre de notre Galaxie**. Ceci revient à être capable de **mesurer un objet qui bouge de 1 mm à 200 km de distance.**

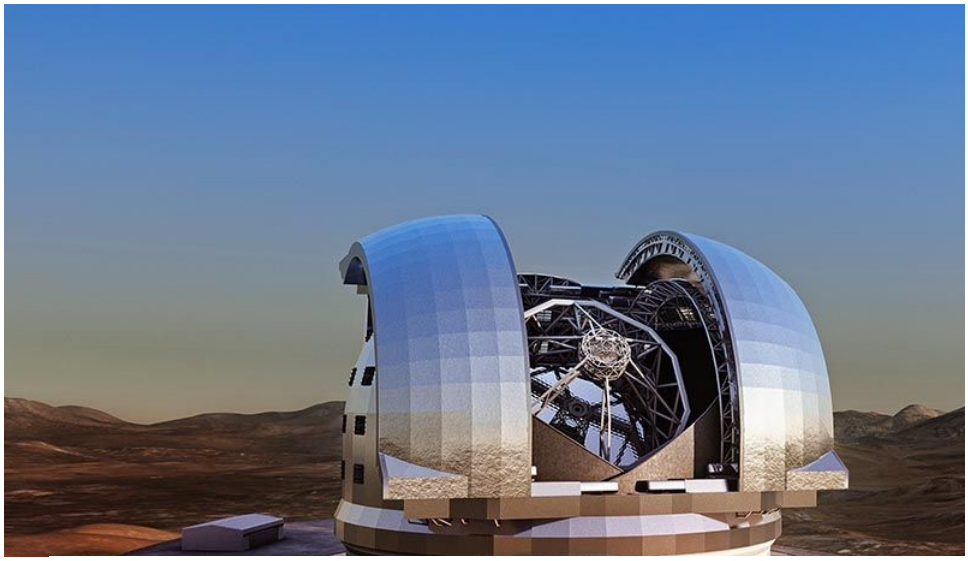
L'ELT et la formation des Galaxies :

Joël VERNET : nous montre une **photo de l'amas VIRGO situé à 65 millions d'Années-Lumière. L'ELT permettra de reconstituer l'historique de la formation stellaire, de** reconstituer et **analyser les étoiles individuelles de cet amas VIRGO**. L'ELT permettra de **détecter plus d'un million d'étoiles par seconde d'arc**.

L'univers lointain et la formation des premières Galaxies : l'ELT permettra **d'étudier comment se forment les Galaxies, les amas d'étoiles.** Il va faire de la **tomographie de l'atmosphère en 3D** pour pouvoir observer des objets là où il n'y a pas d'étoile brillante.

L'ELT a donc un potentiel de découverte énorme : avec l'ELT, on élargit l'espace des paramètres. Il faudra cependant éviter de trop spécialiser le télescope.

La construction de l'ELT :



- **Site de l'ELT :** sur une montagne : le **Mont Cerro Armazones à 3046 m d'altitude au Chili,** à 1200 km de Santiago du Chili.
- Ce site a **360 nuits claires par an.**
- Son **atmosphère est stable**.
- **L'air y est très sec**
- Il est **proche du télescope VLT (20 km)** et de son infrastructure (ce qui permet de réduire les coûts d'exploitation.
- **Par contre ce site a une forte activité sismique et un fort vent.**

La structure du télescope ELT :

Sur ce schéma nous voyons : **M1** le miroir primaire, **M2** le miroir secondaire, **M3** le miroir tertiaire, **M4** le miroir déformable (optique adaptative), **M5** le miroir renvoyant la lumière vers les plateformes instrumentales, **en 6** l'axe horizontal de la partie optique (hauteur), **en 7** la plateforme instrumentale (x2), **en 8** les lasers de l'optique adaptative (x6), **en 9** la plateforme orientable (⇒azimut),
en 10 les contreventements sismiques.

Principaux chiffres de l'ELT :

- Sa **monture est Alt-Azimutale**
- Sa **structure principale pèse 3400 tonnes**. Elle **soutient 700 tonnes d'opto-mécanique et d'électronique**.
- Ses **roulements sont hydrostatiques**
- **Sa précision de pointage est de 0,3 seconde d'arc (1/12000 degré d'angle)**
- Il **peut réaliser un nouveau pointage en moins de 5 mn** (pointage **d'une distance visible allant de 30 cm à 200 km)**
- Il possède **deux plateformes NASMYTH** et **une chambre pour les instruments**
- Son **coût d'utilisation annuel sera de 50 Millions d'euros**
- Toutes les **unités opto-mécaniques** sont capables de **se réaligner**, de **se focaliser**, de **se déformer** et de **compenser les perturbations externes** (vent fort, changement de température, de gravité lors des mouvements)
- **Au foyer de l'ELT** des **systèmes mesurent 500 fois par seconde (en temps réel) l'état du télescope** et les **perturbations externes.**

Le dôme de l'ELT :

- Il **protège le télescope** des intempéries et du vent.
- Il a **115 m de base et 80 m de haut**
- Il pèse **6000 tonnes qui se déplacent à la même vitesse que le télescope** lui-même
- Il **contrôle la circulation d'air**. Celle-ci a été **testée en soufflerie** pour **éviter à tout prix toute turbulence**.
- Il est **très différent technologiquement du dôme du télescope de 30m (TMT)** installé à Hawaï

L'opto-mécanique de l'ELT : les 5 miroirs (M1 à M5) :

- Les **3 miroirs M1-M2-M3 constituent un Anastigmat** (sorte de lentille qui corrige les aberrations sphériques)
- Les **deux miroirs M4 et M5 servent aussi à la correction et à la stabilisation** (correction des aberrations et des vibrations de la structure)
- Le **trajet de la lumière arrivant d'un astre** est le suivant : elle **frappe d'abord le Miroir M1** (dont le diamètre est de 39m). Elle **se réfléchit sur M1** puis **arrive sur M2** qui **l'envoie sur M3** situé à l'intérieur de M2 et **passe au travers du Miroir-plan M4** puis **sur le Miroir-plan M5** et **arrive finalement à la plateforme d'instrumentation scientifique** pour contrôle et traitement.

Le miroir M1 de l'ELT :

- Son **diamètre est de 39m**
- Il est **formé de 798 segments** quasiment **parfaitement hexagonaux**
- Ce **miroir forme un paraboloïde de révolution quasiment parfait** (constante conique = -0,9965 proche de -1)
- Les **segments ont une symétrie d'ordre 6** (ils forment **6 familles identiques de 133 segments par famille**). **Une famille en plus sert à la maintenance** (**remplacement des segments défectueux)**
- **Ce miroir subit** un entretien spécifique chaque jour
- **L'ébauche des segments** est réalisée par la **société allemande SCHOTT**
- **Son matériau est la céramique** (obtenue par **coulage à chaud**). Chaque segment est mis en boîte après refroidissement
- **Chaque segment a un diamètre de 1,4 m**
- **Dans chaque famille, les 133 segments sont tous différents**
- **Le polissage, le découpage et l'intégration des segments sont réalisés en France (à Poitiers). C'est la société SAFRAN-REOSC** qui intègre aussi les segments sur leur support et **finalise chaque segment par usinage ionique à une précision efficace de 15 nanomètres** (ce qui constitue un polissage extrêmement fin)
- Pour cette réalisation **une usine de 5000 m^2 a été construite pour SAFRAN-REOSC à Poitiers**. Elle tourne actuellement à plein régime et **produit un segment par jour jusqu'en 2025.**

Les supports et les actuateurs du miroir M1 de l'ELT :

- Les **supports de M1** constituent **une mécanique de balancier à 27 points de VDL** pour **minimiser les déformations** (dues à la gravité et à la température)
- Pour que **les 798 segments forment un paraboloïde presque parfait**, les **positionneurs ont une précision de 2 nanomètres** afin que le miroir final ne forme plus qu'une **surface continue parfaite**.

- **Par comparaison, si l'actionneur était un train sur une voie ferrée longue de 10 km**, il faudrait **qu'il puisse enchaîner des vitesses aussi rapides que celles d'un TGV (88 m/s) avec des vitesses aussi lentes que celles d'un escargot (2,8 mm/s)**
- Permettent des **déplacements de M1 d'une très grande précision**.

Les miroirs M2 et M3 de l'ELT :

- Sont aussi **en céramique ZERODUR** et ont été **coulés en 2017 par la société allemande SCHOTT**
- Font **4m de diamètre**
- **M2 est très complexe** et est actuellement **en cours de polissage par la société SAFRAN-REOSC**

Le miroir déformable M4 de l'ELT :

- Sert à **corriger les turbulences atmosphériques et les aberrations résiduelles du télescope**
- C'est un **miroir-plan de 2,45 m de diamètre** constitué d'une **membrane en ZERODUR de seulement 2 nanomètres d'épaisseur** amenée **en lévitation magnétique** par **5362 actuateurs pouvant déformer le miroir 1000 fois par seconde (fréquence de 1000 Hz)**
- Ce miroir est **constitué de 6 pétales**

Le miroir stabilisateur M5 de l'ELT :

- Sert à **corriger les vibrations dues au vent**
- C'est un **miroir elliptique de 2,7 m X 2,2 m**
- **Sa structure est hyper allégée et vibre à 10 Hz**
- Son **matériau est du carbure de silicium BOOSTEC**
- **Pèse seulement 440 kg**

Les lasers de l'ELT :

- **Servent à analyser la turbulence de l'atmosphère en y créant des étoiles artificielles**
- Ils **excitent les atomes de sodium de la couche de la très haute atmosphère à 90 km** d'altitude
- Sont **formés d'une source laser et de télescopes** pour **projeter le faisceau**.

Les stations pré-focales de l'ELT :

- Sont **situées après le miroir M5**
- Elles **analysent la lumière provenant des étoiles** et sont **guidées par un calculateur en temps réel qui agit sur tous les actionneurs (de M1-M4/M5)**

Les plates-formes de l'ELT :

- Ont **9 m de long**
- **On pourrait y placer un télescope VLT tout entier**
- **Servent à placer nos instruments pesant 30 à 40 tonnes chacun soit :**
    - Un **spectrographe intégral** de champ optique et infra-rouge **HARMONI**
    - Un **imageur infra-rouge** de haute résolution
    - Un **imageur et spectrographe moyen**
    - Un **spectrographe multi-objets MOSAIC**
    - Un **spectrographe infra-rouge à très haute résolution HIRES**

L'ELT en construction :

Joël VERNET : nous montre une photo des **fondations de l'ELT actuellement réalisées**. Mais les **travaux sont arrêtés pour cause de confinement lié à la COVID**. Les **premiers contrats** pour **fabriquer le Miroir M4** ont été signés. Il a fallu réaliser une **zone très plate nivelée au sommet de la montagne en 2014.**

Question d'un(e) participant(e) : les **actuateurs touchent-ils le miroir M4** ?
Joël VERNET répond : **non**, les 5300 actuateurs ne touchent pas M4 mais **font simplement varier le champ magnétique pour mettre M4 en lévitation sans contacts.**

Question de Daniel KUNTH : **l'armée intervient-elle** dans ce projet ?
Joël VERNET répond : oui mais **c'est confidentiel** et non-communiqué.

Question d'un(e) participant(e) : **combien de personnes seront-elles affectées à l'utilisation de ce télescope** ?
Joël VERNET répond : **en permanence, ce sont les mêmes personnes qui utilisent actuellement le VLT** qui seront affectées à l'ELT. Il n'y aura personne d'autre sur le site sauf les techniciens de maintenance.

Question d'un(e) participant(e) : **qu'est-ce qu'un point de VDL** servant de support à M1 ?
Joël VERNET répond : **VDL est le nom d'une société**.

Question d'un(e) participant(e) : les **segments de M1 sont-ils ajustés bord à bord** ?
Joël VERNET répond : **non, les miroirs ne se touchent pas**, ils ont environ 4 mm d'écart pour éviter les effets de la diffraction. **La stratégie de « phasage » du télescope permet d'arriver à ajuster les segments de façon très précise** : on a tous les outils pour le faire.

Question d'un(e) participant(e) : **le coût de ce projet est-il comparable au coût d'un projet de télescope spatial américain ?**
Joël VERNET répond : **non, ce ne sont pas les mêmes ordres de grandeur**. Un télescope spatial américain comme **le JWST (James Webb Space Telescope) a coûté plus de 10 milliards de dollar** alors que **l'ELT ne devrait pas dépasser 1,5 milliard.**

Question d'un(e) participant(e) : quelle est la **durée de vie supposée de l'ELT** ?
Joël VERNET répond : **plus de 50 ans**.

Question d'un(e) participant(e) : **sera-t-il possible de synchroniser le VLT avec l'ELT** ?
Joël VERNET répond : **on pourra faire des observations simultanées** d'un même objet mais **la synchronisation des deux télescopes n'est pas prévue** actuellement.

Question d'un(e) participant(e) : quelle est **l'alimentation électrique de l'ELT** ?
Joël VERNET répond : **au début**, on utilisera des **générateurs diesel** de secours **puis on sera connecté au réseau électrique chilien.** Je ne connais pas la consommation d'un tel télescope mais, à coup sûr, elle **sera élevée.**

Question d'un(e) participant(e) : quel sera le **mode opératoire de l'ELT ? Devra-t-on venir sur place** pour réaliser des observations, comme pour le VLT ?
Joël VERNET répond : **non, pour l'ELT, les images seront archivées par l'ESO**. Il n'y aura pas de nécessité de faire des voyages au Chili pour **voir ces images en temps réel.**

Question d'un(e) participant(e) : le **satellite STARLINK perturbera-t-il l'ELT** ?
Joël VERNET répond : **non,** le champ des instruments est très petit et **il reste encore beaucoup de place pour les observations avec l'ELT.**

Question d'un(e) participant(e) : **ce projet européen concerne 15 pays. Qui participe réellement** ?
Joël VERNET répond : **au sein de l'ESO, la participation est européenne et se fait au prorata des participations des pays à l'ESO**. Ainsi la **France, l'Allemagne et l'Italie se partagent la part du lion**. Les retombées économiques sur les pays dépendent de leur contribution. Chaque pays a sa part en retour.

Question d'un(e) participant(e) : **à quand la première lumière observée par l'ELT ?**
Joël VERNET répond : **en principe en 2025**. Mais on risque de prendre du **retard en fonction de la pandémie** de la COVID.

Rédacteur : Jean-Pierre BULLIARD
Vice - Président d'IESF Franche-Comté
Vice - Président des Ingénieurs INSA de Franche-Comté

Prochaines conférences de l'Institut d'Astrophysique de Paris :

- **Mardi 5 janvier 2021 à 19h30 en live sur Internet avec l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP).**
  « La cosmologie aujourd'hui – réponses et questions» avec François BOUCHER, nouveau Directeur de l'IAP au 1/01/2021