



HES-SO

Yverdon-les-Bains, laboratoire d'optique HEIG-VD

Trimestre T1 2008, 20.01.2009

Classe MI 3^{ème} année

Groupe : Martinet Julien
 Vaucher Frédéric

Travail de recherche

Instrumentation pour l'astronomie



Les télescopes

Ou la recherche des petits hommes verts !

Table des matières	Page
1 Histoire du télescope	3
1.1 Histoire de certains télescopes	4
1.1.1 Les télescopes terrestres.....	4
1.1.2 Les télescopes spatiaux.....	7
2 Type de télescope	9
2.1 Réflecteur (visible).....	9
2.1.1 Newton.....	9
2.1.2 Cassegrain	9
2.2 Catadioptrique (visible).....	9
2.2.1 Schmidt-Cassegrain	10
2.2.2 Ritchey-Chrétien.....	10
2.2.3 Chambre de Schmidt	10
2.2.4 Miroir liquide.....	10
2.3 Autre (non visible)	11
2.3.1 Rayons X	11
2.3.2 Infrarouge.....	11
2.3.3 Ultraviolet.....	11
2.3.4 Radiotélescope	11
3 Technologie et fabrication	12
3.1 Fabrication des miroirs	12
3.1 Fabrication des télescopes.....	13
3.2 Retombées industrielles	14
3.3 Système d'optique adaptative	15
4 Tendances de développement futur	17
5 Conclusion	18
6 Annexes.....	19
6.1 Webographie.....	19
6.2 Bibliographie	19

1 Histoire du télescope

L'étude de l'univers a toujours passionné l'être humain. Plusieurs théories sont nées de l'imagination d'anciens philosophes, chercheurs, idéologues, etc. La première lunette astronomique fit son apparition aux alentours du 17^e siècle. Elle fut présentée par l'italien Galilée. Il était alors possible d'observer la lune et divers autres astres. Les lunettes se sont de plus en plus développées pour devenir des télescopes, c'est-à-dire en utilisant des miroirs au lieu de lentilles. Plusieurs types de télescopes ont vu le jour (voir point 2 page 9) avec différents principes de fonctionnement. Puis sont arrivés les télescopes à optique adaptative. Ils permettent une meilleure précision et résolution.



Figure 1 Lunette d'observation d'Isaac Newton

Lorsque la conquête spatiale a débuté, il est devenu possible d'envoyer des télescopes dans l'espace. L'envoi de tels télescopes permet de supprimer toutes les contraintes dues à l'atmosphère, dont notamment l'absorption de certaine longueur d'onde comme les rayons X par exemple.

Aujourd'hui, étant donné la constante évolution technologique, l'utilisation de télescope spatial devient limitée. Certains télescopes terrestres sont capables d'être plus précis que les télescopes spatiaux actuellement en orbite. La seule utilité des télescopes spatiaux est de pouvoir observer là où l'atmosphère rend impossible l'observation depuis la terre.

1.1 Histoire de certains télescopes

1.1.1 Les télescopes terrestres

Sur le Mont Wilson en Californie se trouve l'un des lieux d'observatoire astronomique le plus populaire et historique. En effet, c'est sur ce sommet de 1742 mètres que bon nombre de découvertes astronomiques ont été faites pendant la première moitié du 20^e siècle. Et c'est sur ce même sommet, dans les années 1920, qu'Edwin Hubble fit la découverte de l'expansion de l'univers (loi de Hubble) avec le télescope de Hooker. Un télescope de 2.54 m de diamètre qui est l'un des pionniers dans l'astronomie. Il fut le premier télescope à être équipé d'un interféromètre, et permit à Michelson de mesurer plus précisément les dimensions et la distance de certaines étoiles. Hubble put, lui, conclure que certaines nébuleuses observées jusqu'à présent étaient en fait des galaxies et qu'elles se trouvaient bien au-delà de la nôtre.

Ce télescope resta longtemps le plus grand du monde jusqu'à ce qu'un télescope de 5 m (Hale) fut construit en 1949. Cependant après sa retraite en 1986, il fut remis en état en 1992 après avoir été équipé d'une optique adaptative.



Figure 2 : Télescope de Hooker



Figure 3 : Télescope Keck 1 et Keck 2

Un grand pas a été fait avec l'apparition des deux télescopes Keck 1 et Keck 2. Ils se situent sur le mont Mauna Kea, à Hawaï, et se trouvent à une altitude de 4145 m. Le type de ce télescope est celui de Ritchey-Chrétien (voir point 2.2.2 page 10).

La technique d'optique adaptative a été utilisée cette fois à grande échelle. En effet chacun des deux miroirs du Keck est composé d'une mosaïque de 36 miroirs hexagonaux, tous orientables individuellement grâce à trois vérins. Ensemble, on

obtient donc un miroir primaire de 10 m pour chacun des télescopes. En outre, une autre technologie est utilisée : les deux télescopes peuvent fonctionner ensemble, par le système d'interférométrie. Ceci permet d'augmenter leur résolution angulaire jusqu'à celle d'un miroir de 85m de diamètre. En théorie ils seraient donc capables de distinguer une flamme de bougie sur la surface de la lune.



Figure 4 : Le VLT

Le Very Large Telescope (VLT) est lui situé dans le désert d'Atacama au nord du Chili, à une altitude de 2635 m. Il est actuellement le télescope le plus performant du monde. C'est un ensemble de 4 télescopes principaux de 8.2 m et de 4 auxiliaires de 1.8 m. Ces derniers étant capables de se déplacer le long de voies ferrées. Il est en outre équipé de tout un tas d'instruments sophistiqués. Avec divers spectromètres allant de l'infrarouge à l'ultraviolet, des systèmes d'imagerie, un système d'optique active afin de compenser les déformations du miroir dues à la gravité (contrairement au Keck les miroirs du VLT sont en une pièce), un système d'optique adaptative pour corriger en temps réel le flou dû aux turbulences atmosphériques (lui permettant d'être 2 fois plus précis que le télescope spatial Hubble), et bien d'autre encore.

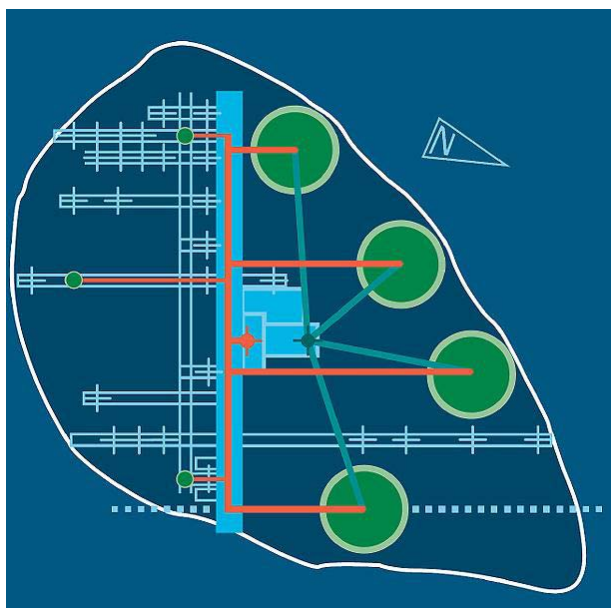


Figure 5 : Système d'interférométrie avec : les miroirs (cercle vert), les positions possibles pour les miroirs auxiliaires (croix) et les faisceaux (trait rouge)

Mais la particularité du VLT est dans sa capacité à faire fonctionner les quatre télescopes principaux ensemble, par paires ou triplets. C'est le principe d'interférométrie optique. C'est là où les télescopes auxiliaires deviennent utiles. En gros cette technique permet de reconstituer (de la même façon qu'il est fait avec les ondes radios pour les radiotélescopes) l'équivalent d'un très grand télescope en recombinaison cohérente des faisceaux provenant de plusieurs télescopes. La chose n'est pas évidente à faire, car il faut pouvoir compenser, avec une précision meilleure qu'une fraction de longueur d'onde (la longueur d'onde des signaux est de l'ordre d'une fraction de micromètre), le trajet relatif des différents faisceaux, notamment à l'aide de ligne de retard. La

résolution obtenue est alors équivalente à celle d'un seul télescope dont la taille serait égale à la distance qui relie les télescopes entre eux. La surface collectrice (qui est aussi la pupille d'entrée) n'est alors plus régulière, comme si le miroir possédait des trous. Pour combler ces trous du plan pupille il faut prendre plusieurs vues dans d'autres directions, par une succession d'images partielles, en déplaçant les télescopes auxiliaires. L'image finale est ensuite reconstituée par ordinateur. Ainsi, la plus grande ligne de base entre les télescopes principaux est de 200 mètres. On pourrait donc dire qu'il équivaut à un télescope de 200m de diamètre, mais avec une surface collectrice de seulement un seul télescope, soit 8m. On perd donc en intensité lumineuse et en sensibilité, mais on gagne en résolution. Cela permettrait théoriquement de voir un homme sur la lune.

En 2002, le VLT a entre autres servi à prouver la présence d'un trou noir au centre de la Voie Lactée.

De nouveaux instruments doivent être apportés au VLT, notamment le spectrographe 3D MUSE. On pourra à l'aide de cet instrument observer l'univers en volume et en profondeur dans le spectre visible. Ce spectrographe devrait être fini en mars 2009.

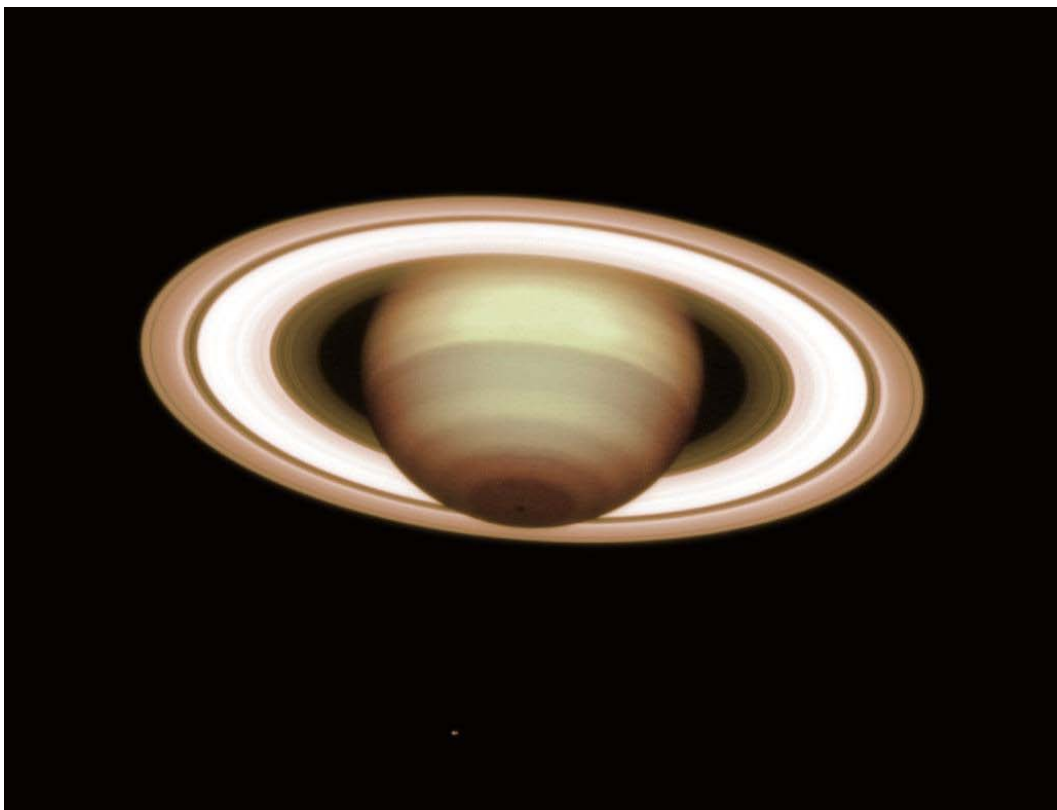


Figure 6 : Saturne pris par le VLT

1.1.2 Les télescopes spatiaux

Dans les années 60-70, lorsque les premiers satellites furent lancés, il est devenu intéressant d'y envoyer aussi des télescopes afin d'observer les étoiles sans contrainte, les rayons ultraviolets, infrarouges, X et gamma étant absorbés par l'atmosphère.

En 1962, les Britanniques envoyèrent en orbite pour la première fois un satellite capable de mesurer des rayonnements ultraviolets et X. Plus tard, les Américains envoyèrent un autre satellite de mesure afin de préparer l'envoi de télescopes plus complexes.



Figure 7 Télescope spatial Hubble

Le télescope spatial le plus connu est sans aucun doute Hubble. Il flotte en orbite à environ 600 km d'altitude à une vitesse de 7500 m/s. Hubble fut lancé le 24 avril 1990 par la navette spatiale Discovery lors de la mission STS-31. Il dispose d'un miroir primaire de 2.4 mètres de diamètre pour une focale globale de 57.6 mètres. Sa carcasse pèse environ 11 tonnes pour une longueur de 13.2 mètres et un diamètre de 4.2 mètres.

Il est capable d'observer les astres dans tout le spectre visible, ainsi que dans l'infrarouge et l'ultraviolet, ce qui en fait un télescope unique.

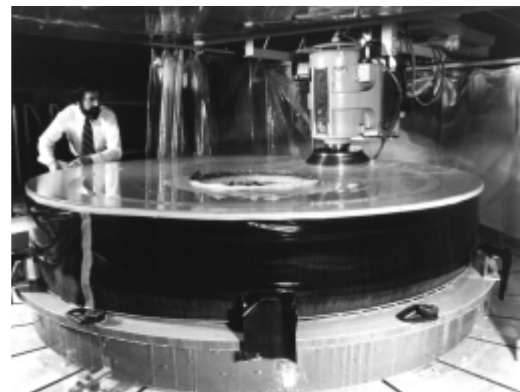


Figure 8 Polissage du miroir primaire

Ses découvertes majeures sont la photographie du champ profond d'Hubble (qui représente 1/30'000'000 du ciel, mais qui contiendrait plusieurs milliers de galaxies), la confirmation de la théorie que chaque galaxie comporte un trou noir en son centre, ou encore la preuve que des planètes sont en gravitation autour d'une étoile autre que le soleil. Hubble est toujours en service, même si sa durée de vie était de 15 ans, et qu'on s'approche déjà des 20.

Plusieurs missions de maintenance ont été réalisées durant sa vie, afin de le mettre à jour avec de nouveaux instruments de mesure, de le réparer ou simplement de le vérifier. Les premiers clichés du télescope étaient très décevants comparés aux attentes. Il s'agissait en fait d'un problème de fabrication du miroir principal. Une mission de maintenance a donc été lancée en 1993 afin de corriger ce problème. Il y eut en tout quatre missions de réparation et une cinquième doit partir en 2009. Elle devrait être la dernière avant la fin de vie d'Hubble, prévues en 2014.



Figure 9 Améliorations apportées lors d'une mission de maintenance

Un nouveau télescope, le James Webb Space Telescope, devrait être lancé en 2013 pour succéder à Hubble. Mais il ne remplacera pas entièrement l'ancien télescope puisqu'il ne peut observer que l'infrarouge.

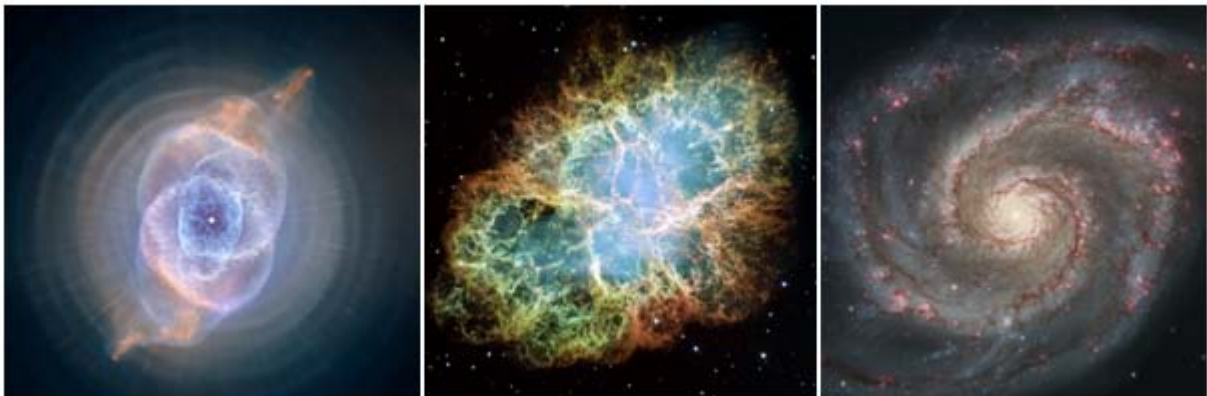


Figure 10 Clichés pris par le télescope Hubble

D'autres télescopes, moins connus, sillonnent le ciel en orbite, par exemple les télescopes : IRAS (mission terminée en 1983) qui était un télescope pour l'infrarouge, FUSE (lancé en 1999) qui est un télescope ultraviolet, ASTRO-F (lancé en 2006) qui est aussi un télescope infrarouge ainsi que SPITZER (lancé en 2003) toujours pour l'infrarouge. Quelques-uns seront lancés cette année ou dans les années à venir par exemple : PLANCK (2009) capable de mesurer le rayonnement micro-onde, KEPLER (2012) détection d'exo planète.



Figure 11 Télescope spatial PLANCK

2 Type de télescope

2.1 Réflecteur (visible)

Ce premier type de télescope pour le domaine du visible emploie des miroirs pour collecter et focaliser la lumière sur l'oculaire. Il en existe plusieurs types.

2.1.1 Newton

Ce type de télescope du célèbre nom d'Isaac Newton est le montage le plus ancien et surtout le moins cher à l'achat. C'est pourquoi il est très prisé des amateurs d'astronomie. Techniquement ce télescope se caractérise par un miroir secondaire incliné à 45° . Ceci permet de renvoyer l'image focale à 90° de l'axe optique près de l'ouverture du tube, ce qui est plus agréable pour l'utilisateur. Par contre le miroir principal étant parabolique il va générer des aberrations de coma et donc déformer les étoiles en bord de champ.

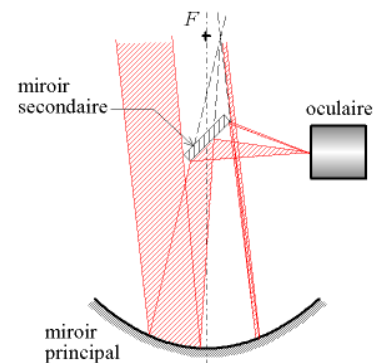


Figure 12 : Télescope de Newton

2.1.2 Cassegrain

Créé au XVII^e siècle par le prêtre et physicien français Laurent Cassegrain. Il se distingue de son prédécesseur par un miroir secondaire hyperboloïdal convexe afin d'accroître la longueur focale effective de l'instrument. De plus, le miroir primaire est percé en son centre et l'observateur se place donc derrière le télescope. Il a par contre toujours les mêmes défauts d'aberration que celui de Newton.

Dans le même registre, on peut citer le télescope de Gregory qui lui a par contre un miroir secondaire ellipsoïdal concave.

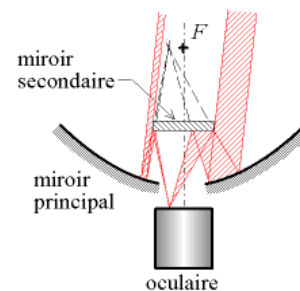


Figure 13 : Télescope de Cassegrain

2.2 Catadioptrique (visible)

Ce deuxième type contient en plus une lentille mince (ou lame correctrice) qui est positionnée à l'avant du tube pour accroître le champ visuel.

2.2.1 Schmidt-Cassegrain

Ce type de télescope est une amélioration du Cassegrain. En effet il corrige le principal défaut de son prédécesseur (l'aberration de sphéricité) en ajoutant une lame de Schmidt. C'est un instrument polyvalent et qui fournit des images lumineuses et nettes sur la quasi-totalité du champ. C'est donc pour ça qu'il est très prisé des amateurs. Il se place par contre dans la catégorie des télescopes plus couteux du fait que la conception des lames de Schmidt n'est pas aisée à faire. Cette dernière possédant une face plane et une face courbe définie par une équation complexe.

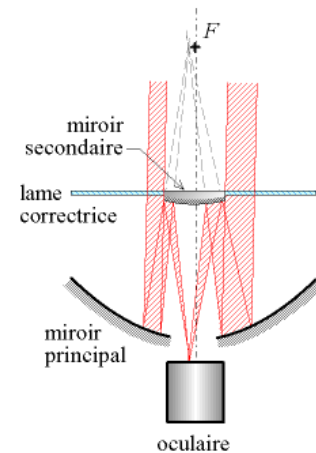


Figure 14 : Télescope Schmidt-Cassegrain

Il existe aussi une variante à ce télescope : Le Maksutov-Cassegrain. Il est plus facile à réaliser du fait qu'il est composé uniquement de surface sphérique. La lame séparatrice étant cette fois-ci une lentille concave plus épaisse sur les bords.

2.2.2 Ritchey-Chrétien

Ce type-là est sans doute la meilleure solution pour les télescopes. Sans rentrer dans les détails, il est du même type que Cassegrain, mais il permet d'éliminer les aberrations de coma. C'est pour cela qu'il est utilisé par les observatoires professionnels modernes. On peut citer le VLT ou Hubble.

2.2.3 Chambre de Schmidt

Ce type de télescope est principalement utilisé pour l'astrophotographie. Il est basé sur un miroir primaire sphérique et une lame déformée spécialement pour compenser l'aberration sphérique. Cependant, cette chambre de Schmidt reste de grande envergure du fait que sa longueur est égale au rayon de courbure.

2.2.4 Miroir liquide

Le télescope à miroir liquide a été imaginé dès 1850 par Ernesto Capocci. Il s'agit de mettre en rotation une cuve de mercure afin qu'il se déforme sous la cause de l'effet centrifuge. Il ne permet cependant que des observations au zénith. Un tel télescope avec un miroir de 6m de diamètre a été mis en route en 2005. Il s'agit du LZT (Large Zenith Telescope).

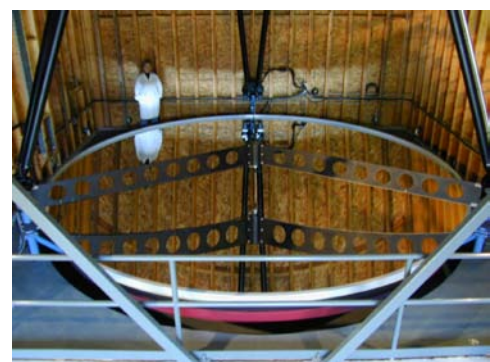


Figure 15 : Miroir liquide de 6m de diamètre (LZT)

2.3 Autre (non visible)

Dans le domaine du non visible, il existe toute une gamme de télescopes qui sont capables d'observer un bon nombre de longueurs d'onde différentes. Voici les plus courants.

2.3.1 Rayons X

Certains télescopes sont capables d'étudier, en plus de la lumière visible, le spectre des rayons X. De tels télescopes n'existent pas sur terre due à ce que l'atmosphère terrestre réfléchit ces rayons. C'est pour cette raison qu'on les retrouve uniquement à bord des satellites. On peut citer le télescope spatial Chandra, envoyé par la NASA en 1999.

2.3.2 Infrarouge

Le plus célèbre est sans conteste le télescope spatial Spitzer. Comme pour les rayons X, les infrarouges sont observables uniquement depuis l'espace avec des instruments refroidis cryogéniquement. Les instruments de Spitzer permettent entre autres de percer les nuages interstellaires (nuage de gaz) qui bloquent les télescopes fonctionnant dans le domaine visible. Il apporte donc des nouvelles données sur les formations des planètes, les naines brunes ou sur les galaxies dites infrarouges où siège une formation très intense d'étoile.

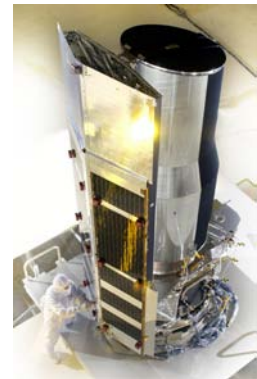


Figure 16 : Télescope spatial Spitzer

2.3.3 Ultraviolet

En plus de pouvoir observer les étoiles dans le domaine du visible, le télescope Hubble est capable de capturer des rayonnements ultraviolets. Comme ces longueurs d'onde sont absorbées par l'atmosphère, il est nécessaire d'avoir des télescopes en orbite. D'autres télescopes sont uniquement dédiés à l'ultraviolet par exemple FUSE.

2.3.4 Radiotélescope

Le radiotélescope est utilisé en radioastronomie pour capter les ondes radioélectriques émises par les astres ou d'éventuels petits hommes verts.

Le plus grand jamais construit est le Radiotélescope d'Arecibo au Porto Rico avec une antenne principale de 305 m de diamètre. Il a été utilisé dans le film de James Bond : Goldeneye.

Dans un autre cadre, on peut aussi citer le radiotélescope VLA formé de 27 antennes paraboliques de 25m de diamètre chacune.



Figure 17 : Radiotélescope d'Arecibo

3 Technologie et fabrication

3.1 Fabrication des miroirs

Il sera ici parlé de la fabrication des miroirs du VLT. Mais ce sont les mêmes techniques de conception qui sont utilisées pour la plus part des types de miroir d'autres télescopes.

Les tendances sont actuellement d'utiliser un miroir mince. Car la masse du miroir varie comme le cube de son diamètre. Il sera donc moins rigide, mais plus léger. Il reste alors à corriger les déformations du miroir (dues à son propre poids ou au mouvement du télescope) en temps réel par un système de vérins agissant sur sa face arrière. Cette technique permet en même temps de corriger d'éventuelles erreurs résiduelles dues au polissage.

Les miroirs du VLT de type Cassegrain, font 8.2m de diamètre, ont la forme d'un ménisque, et ont une épaisseur de 175 mm pour un poids de 23 tonnes. Ils ont été réalisés par la société SCHOTT (Mayence - Allemagne). Cette réalisation est une vraie prouesse technologique. En effet pour créer ces miroirs, on coule le verre (Zerodur, a très faible coefficient de dilatation) dans un moule en rotation. La rotation permet tout de suite de donner au miroir une forme parabolique assez proche de la forme finale. Cela permet de limiter la quantité de verre à éliminer durant le polissage. Une fois ceci fait, on le refroidit pendant 3 mois (de 800 à 25 °C).

Ensuite le miroir est transporté par bateau jusqu'en France à Paris (dans le cas du VLT) où il est poli par la société REOSC (St Pierre du Peray - France) avec un rayon de courbure de 28.8 m. Pour respecter parfaitement cet angle, un contrôle continu est effectué à l'aide d'interféromètre. L'ouverture des miroirs du VLT est la plus ouverte jamais polie avec une ouverture finale de $f/d=1.8$. L'ouverture centrale pour faire passer la lumière vers le foyer Cassegrain vaut quant à elle 1 m. L'ensemble des opérations dure 9 mois.

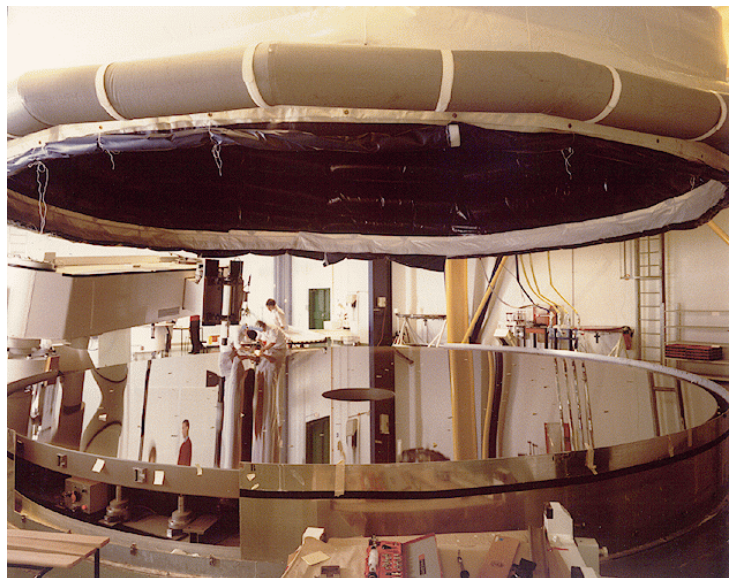


Figure 18 : Conception du miroir principal du VLT

Il reste ensuite le transport du miroir jusqu'au télescope qui doit être réalisé avec d'extrême précaution. En effet il doit être laissé sur son support final puisque seuls les 214 vérins peuvent assurer la rigidité nécessaire. Le support contient également tout le système de régulation thermique du miroir ainsi que l'attache pour l'instrument au foyer Cassegrain. Ce support est réalisé par GIAT industrie (France) avec une conception s'inspirant de celle utilisée pour les sous-marins nucléaires et est découpé à l'aide d'une technique laser.

3.1 Fabrication des télescopes

La fabrication des télescopes dépend bien sûr de l'environnement dans lequel il va se trouver, mais aussi des exigences demandées, de son prix, etc. Un astronome amateur n'aura pas envie de dépenser des millions de francs dans un télescope, il préférera une lunette astronomique ou un télescope bas de gamme.

Pour la construction d'un télescope spatial, il y a une énorme quantité d'exigence à respecter. Il doit résister à des températures extrêmes, au vide, aux rayonnements nocifs, être autonome énergétiquement, doit pouvoir communiquer avec la Terre, etc. Mais il faut aussi penser aux facteurs externes comme le transport du satellite (par une navette spatiale ou par une fusée), sa mise en orbite, etc.

Afin de garantir une bonne fiabilité et donc une grande durée de vie, les télescopes spatiaux nécessitent un contrôle extrêmement poussé. Chaque petite pièce de l'ensemble doit ou devrait être analysée, car une fois en orbite autour de la Terre, il est difficile de réparer ou changer les pièces défectueuses. C'est pourquoi la fabrication de certaines pièces et surtout l'assemblage du télescope se font généralement en salle blanche.

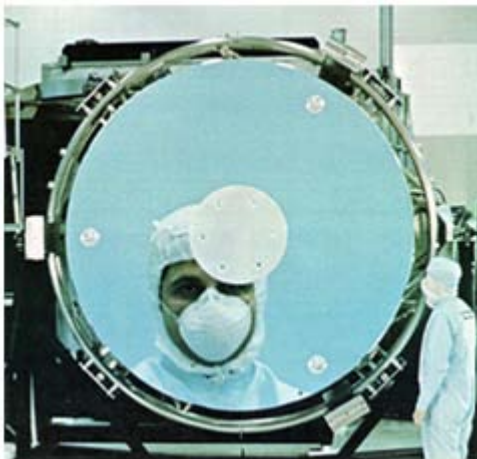


Figure 19 Assemblage du miroir principal



Figure 20 Spectrographe installé sur le télescope Hubble

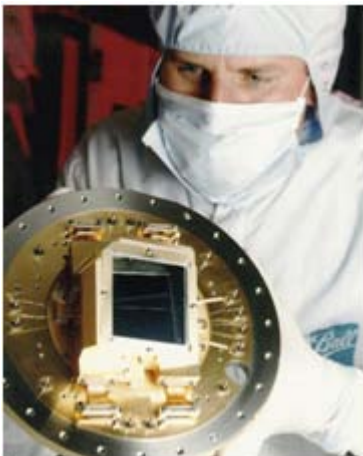


Figure 21 Capteur CCD d'un instrument de mesure du télescope Hubble



Figure 22 Réparation du télescope Hubble

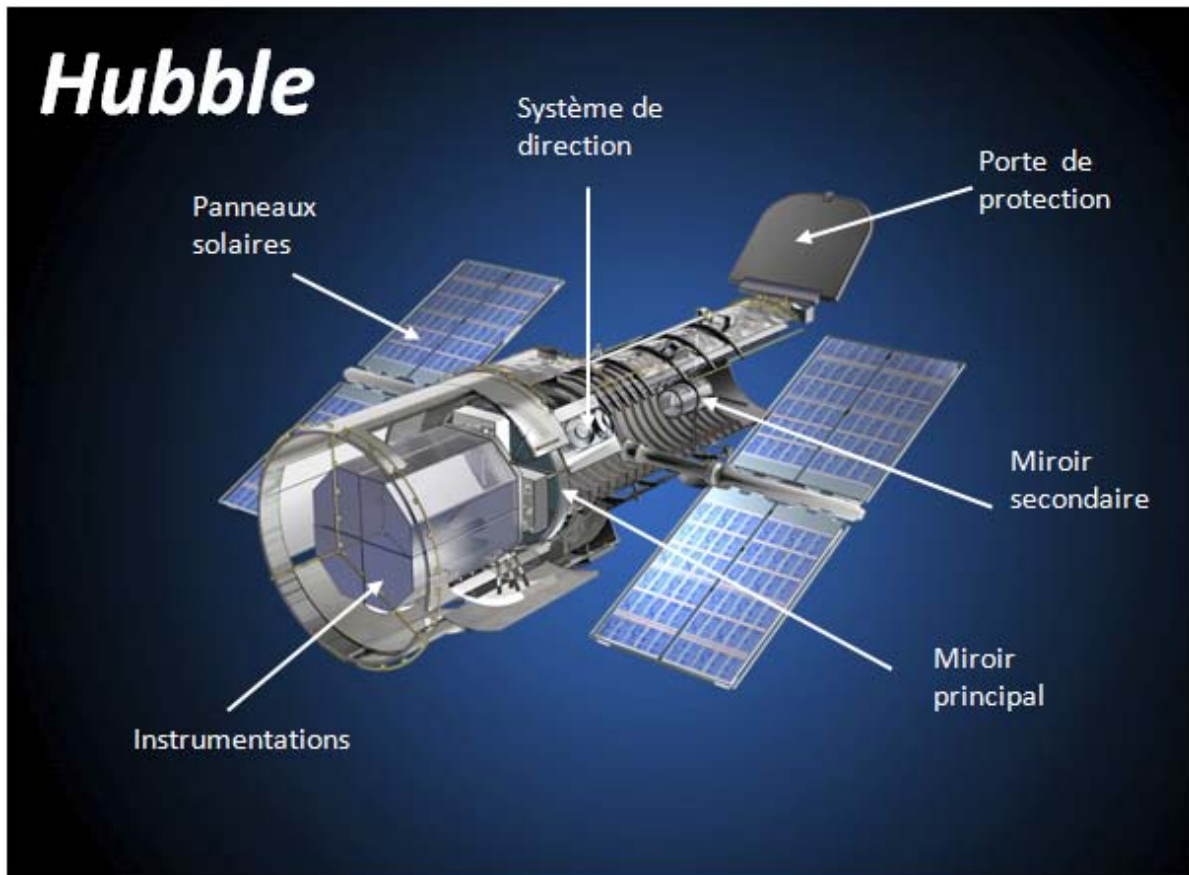


Figure 23 Vue intérieure du télescope Hubble

3.2 Retombées industrielles

Voici quelques retombées industrielles provoquées par la recherche astronomique :

- La céramisation des verres (pour diminuer la dilatation des miroirs de télescope lors des variations diurnes de température) a trouvé une application directe dans les céramiques « anti-thermiques » des fours domestiques.
- L'optique adaptative va certainement trouver des applications en ophtalmologie : on pourra observer in vivo le tissu rétinien avec des résolutions de quelques secondes d'arc. Elle pourrait donc être utilisée à terme pour la correction de la presbytie. Mais il n'y a pas que dans le domaine médical qu'elle sera utile. On peut citer entre autres les caméras numériques, les têtes de lecture pour CD, DVD ou Blue-Ray ou la communication optique à l'air libre.

3.3 *Système d'optique adaptative*

Une des tendances actuelles est de mettre des systèmes d'optique adaptative sur les télescopes. Ce type de système est destiné à compenser la turbulence de l'atmosphère, qui produit des dégradations dans l'image, et ce, en temps réel à l'aide d'un miroir déformable. Ainsi, l'image et le spectre obtenus sont d'une précision telle qu'ils puissent égaler, voir même dépasser, ceux obtenus à l'aide de télescopes spatiaux. La résolution angulaire étant cependant limitée par la taille du télescope (limite de diffraction).

L'optique adaptative a été développée dans les années 1970 pour des besoins militaires. Mais c'est dans les années 1990 qu'elle fut réellement utilisée pour l'astronomie.

Techniquement, les systèmes d'optiques adaptatives fonctionnent comme suit :

La lumière se déplace sous forme de front d'onde, et plus précisément lorsqu'elle est "pure" (sans perturbation), sous front d'onde sphérique. Cependant à l'échelle de la terre, ce front d'onde (s'il vient des étoiles) est considéré comme plan, car l'étoile est supposée à l'infini. Ce front d'onde plan arrive alors dans l'atmosphère. Plusieurs phénomènes entrent alors en jeu : l'indice de réfraction de l'air varie avec la température et la pression, déplacement des masses d'air, température changeant en altitude. Ainsi tous ces phénomènes finissent par créer des turbulences optiques qui ont comme conséquence de changer le chemin optique des rayons lumineux. Les rayons ne parcourant plus les mêmes chemins, le front d'onde observé n'est donc plus plan et l'image est déformée.

On peut aussi faire l'analogie lorsque l'on observe un coucher de soleil sur l'eau d'un étang : si la surface de l'eau est parfaitement plane, l'image est excellente. Par contre dès qu'elle est agitée, l'image se trouble et le soleil n'est plus qu'un vague halo lumineux.

La solution est donc d'utiliser un miroir déformable (à l'aide de vérin, piston ou actionneur voice coil) afin de corriger les défauts. Il faut alors utiliser un analyseur de front d'onde afin d'estimer la perturbation, ou la forme de l'onde reçue, pour pouvoir ensuite envoyer ces informations au système de déformation.

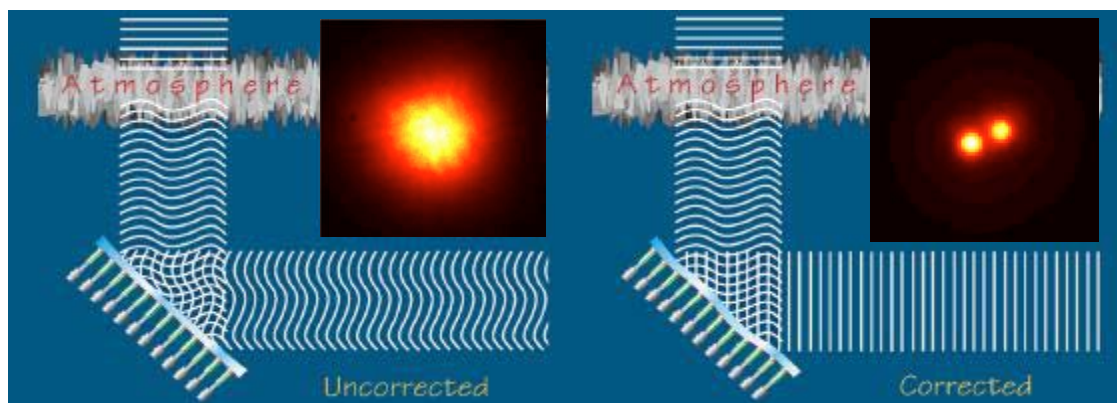


Figure 24 : Schéma de principe du front d'onde corrigé, avec l'étoile HIC 59206 observée par le VLT avec et sans la correction du front d'onde.

Il existe tout un tas d'analyseurs de front d'onde dont les plus connus sont: L'Interféromètre Michelson, qui mesure directement le front d'onde ; l'analyseur de Shack-Hartmann, qui mesure sa pente ; l'analyseur de François Roddier ou dit "senseur de courbe", qui comme son nom l'indique mesure la courbe du front d'onde ou encore l'analyseur de R. Ragazzoni ou dit "pyramide" qui lui, fait une analyse directe de la pente.

Comme exemple pratique on peut citer le VLT, qui a installé en 2001 un système d'optique adaptative nommé NAOS. Ainsi, le VLT a obtenu une résolution 3 fois supérieure à celle de Hubble (voir Figure 26). Cela démontre bien l'efficacité d'un tel système.

Il possède en outre deux analyseurs de type Shack-Hartmann. Un fonctionnant dans le domaine visible et l'autre dans le domaine infrarouge. Il a un miroir de pointage à deux axes et un miroir déformable de 115 mm de diamètre. Ce dernier est contrôlé en 185 points par des actionneurs piézoélectriques qui déplacent la surface du miroir (qui est en réalité une membrane réfléchissante) de seulement 10 μm .

De plus, le système NAOS a besoin pour fonctionner de 5 calculateurs pour contrôler sa mécanique, ses analyseurs de surface d'onde et ses miroirs déformables. C'est donc un système relativement complexe et de grande envergure, à la hauteur du VLT.

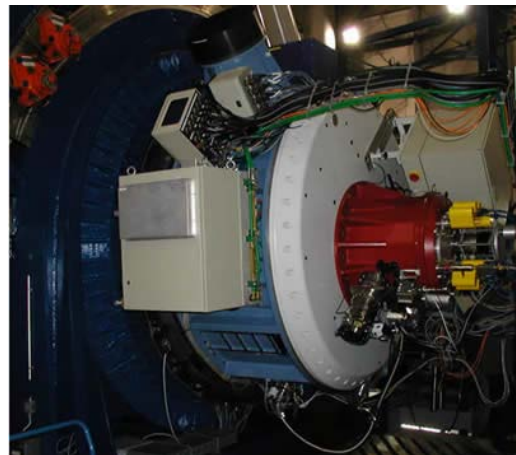


Figure 25 : Système d'optique adaptative NAOS installé sur le VLT



Figure 26 : Comparaison entre Hubble (à gauche) et le VLT avec le système NAOS (à droite)

4 Tendances de développement futur

La tendance jusqu'à présent pour les télescopes terrestres est de concevoir des appareils toujours plus grands, volumineux, chers, etc. En ce qui concerne les petits télescopes « tout public », dans dix ans, ce sera sûrement toujours le même genre de télescopes. Il y aura peut-être un peu plus d'électronique afin de corriger l'optique et les aberrations, mais cela restera faible. Pour les télescopes de plus grandes tailles, l'ELT sera inauguré en 2018 et les astronomes disposeront alors d'un télescope cent fois plus précis que

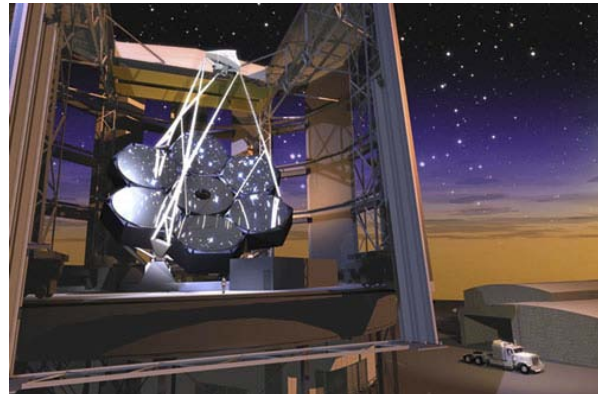


Figure 27 Projet de télescope terrestre américain GMT (Giant Magellan Telescope)

ceux qui sont actuellement en service. Il sera possible d'observer depuis la terre, des planètes de la taille de la Terre gravitant autour d'étoiles. D'autres télescopes de cette taille pourraient voir le jour ainsi que des télescopes plus petits, mais avec les nouvelles technologies d'optique adaptative. Les miroirs hexagonaux tels ceux utilisés pour l'ELT deviendront peut-être un standard. En effet, il y a une certaine limite dans la conception des miroirs en une pièce, qui est de l'ordre de la technique de conception (il faut qu'il refroidisse de façon homogène sur toute la surface), de l'ordre du transport (plus il est grand et plus il est lourd et encombrant) et de l'ordre du coût (technique de conception spécial). On arrive donc à un diamètre d'environ 11 m pour le plus grand du monde (SALT, Southern African Large Telescope), mais il est fixe. On pourra aussi voir arriver prochainement des systèmes d'optique adaptative sur les miroirs liquides, avec notamment l'utilisation de ferrofluide. Ce dernier pourra ainsi être contrôlé par un champ magnétique afin de changer la forme du miroir.

Les anciens observatoires seront probablement modernisés afin d'augmenter leur précision et leur durée de vie. Peut-être qu'une nouvelle technologie fera son apparition et permettra théoriquement de réduire la taille des miroirs ; théoriquement, car il faut du temps pour construire de nouveaux télescopes.

Concernant les télescopes spatiaux, il est fort probable qu'il n'y ait pas beaucoup d'évolution d'ici dix ans. L'envoi de télescope en orbite nécessite une longue et coûteuse préparation. De nouveaux télescopes seront envoyés dans l'espace, mais ce sont ceux qui sont actuellement en développement ou en construction. De plus, par l'avancée technologique des observatoires terrestres (capable de compenser les aberrations dues à l'atmosphère), il est fort probable que dans le futur, seul des télescopes destinés aux



Figure 28 Projet de télescope lunaire à miroir liquide

infrarouges, ultraviolets ou rayons X seront envoyés. Comme il est très coûteux d'utiliser ou d'entretenir ces télescopes, leur nombre risque d'être limité. D'autres projets comme l'installation de télescopes sur la surface de la lune sont étudiés à l'heure actuelle. Il serait alors question de miroirs liquides.

Le facteur politique et gouvernemental joue un rôle tout aussi important que le simple besoin d'avoir des télescopes spatiaux. L'un des principaux acteurs de la conquête spatiale est sans conteste les Etats-Unis. La politique de M. Bush était la reconquête de la Lune et la conquête de Mars, celle de M. Obama quant à elle, est plus modeste. Il garde espoir d'une mission sur la Lune, mais la NASA est limitée par les coûts de toutes ces opérations. Tout l'argent dépensé dans l'élaboration d'une mission lunaire ne sera pas dépensé dans l'envoi de nouveaux télescopes. De plus, les navettes spatiales seront bientôt retirées du service. Il deviendra donc plus difficile de réparer et entretenir la flotte de télescopes spatiaux.

5 Conclusion

Les télescopes sont utilisés depuis un bon nombre d'années et ont permis de découvrir de grandes choses, que ce soit les télescopes terrestres ou spatiaux. Ils vont continuer d'être perfectionner, de devenir de plus en plus sophistiqués, et seront capables d'observer toujours plus loin. Leur utilisation va continuer sur son élan voire même s'intensifier, car nous sommes toujours de plus en plus attirés par l'univers qui nous entoure et par d'éventuelles traces de vie extraterrestre. Personne ne sait encore quel secret va encore être révélé à l'humanité.

Yverdon-les-Bains, le dimanche 1^{er} février 2009.

Martinet Julien

Martinet Julien

Vaucher Frédéric

Vaucher Frédéric

6 Annexes

6.1 Webographie

- Encarta – télescope spatial
 - http://fr.ca.encarta.msn.com/encyclopedia_741536102/spatial_t%C3%A9lescope.html
- Wikipédia
 - <http://fr.wikipedia.org/>
- Techno-science – politique spatiale
 - <http://www.techno-science.net/?onglet=news&news=6019>
- Futura-sciences - Budget de la NASA
 - http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/astronautique/d/la-lune-trop-chere-pour-la-nasa_7518/
- The Large Zenith Telescope (en anglais)
 - <http://www.astro.ubc.ca/lmt/lzt/>
- Spacetelescope – Hubble
 - <http://www.spacetelescope.org/index.html>
- Site sur le télescope VLT (très complet et en français)
 - <http://www2.iap.fr/vlt/>
- Site de l'ESO sur le télescope VLT (en anglais)
 - <http://www.eso.org/public/astronomy/teles-instr/paranal.html>
- Site de l'ESO sur le télescope ELT (en anglais)
 - <http://www.eso.org/public/astronomy/projects/e-elt.html>
- Site du CNRS sur le VLT
 - <http://www.insu.cnrs.fr/r20,very-large-telescope.html>
- Radiotélescope d'Arecibo (image)
 - http://web.cala.asso.fr/IMG/jpg/RadioTelescope_Arecibo.jpg
- Projet de télescopes lunaires (image)
 - http://www.futura-sciences.com/uploads/RTEmagicC_nasalunartelelescope.jpg.jpg
- Télescopes GMT (image)
 - http://www.futura-sciences.com/uploads/tx_oxcsfutura/comprendre/d/images/671/cuby_07.jpg
- Le système d'optique adaptative NAOS du VLT (très complet et en français)
 - <http://www.onera.fr/conferences/naos/index.php>

6.2 Bibliographie

Support de cours d'optique: Les télescopes, L'optique adaptative.