



Opinions Libres

le blog d'Olivier Ezratty

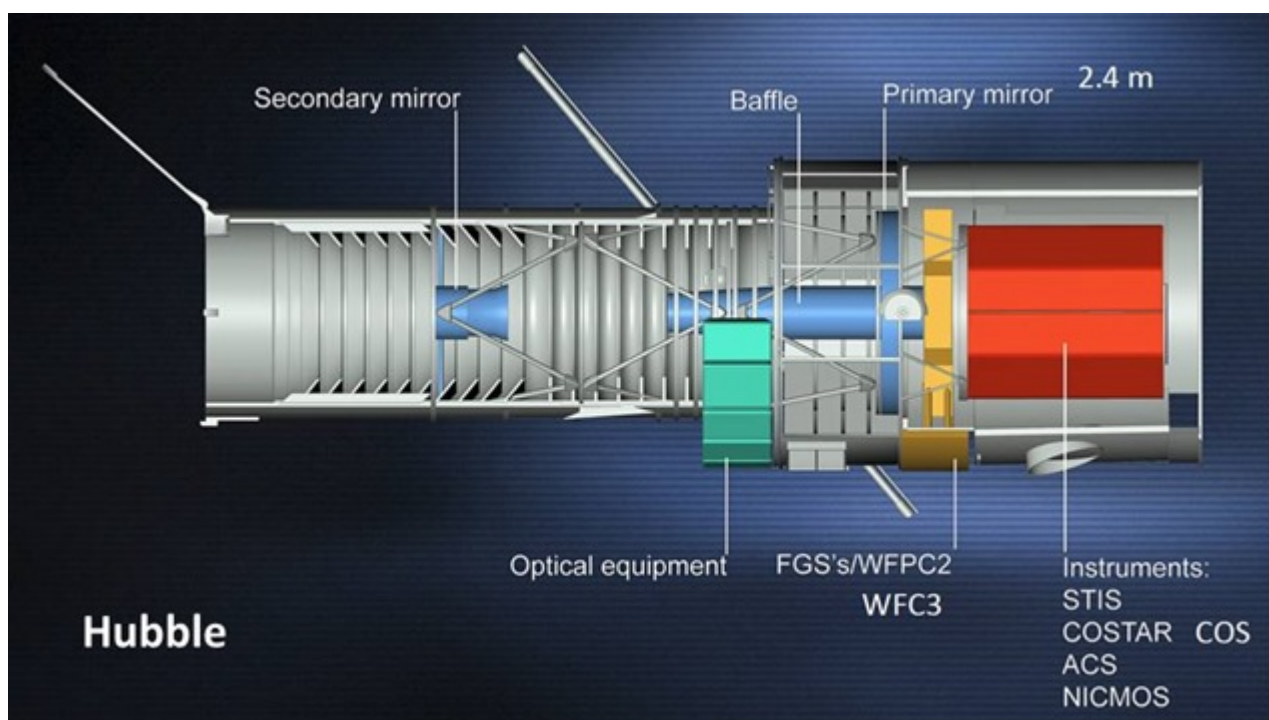
De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans le visible

Dans ce vaste tour d'horizon des technologies et entreprises de l'astronomie, et après un apéritif sur les particularités des télescopes spatiaux, partons à la découverte des grands télescopes opérant principalement dans le visible avec **Hubble** et **Gaia**. Le télescope spatial **Kepler** est aussi dans cette catégorie mais nous le dissèquerons dans un prochain article à venir sur la recherche d'exoplanètes.

Dans les épisodes suivants, nous ferons la même chose pour les télescopes spatiaux dans l'infrarouge, les rayons gamma, les rayons X, l'ultra-violet et les ondes radio. Bref, nous allons faire le tour de l'exploration de tout le spectre électromagnétique !

Hubble Space Telescope (1990-2021)

C'est de loin le télescope spatial le plus connu. Le projet de télescope spatial Hubble a été imaginé au début des années 1970, approuvé par le Congrès US en 1977, après une annulation en 1974. Conçu pendant les années 1970 et 1980, il était prêt pour son lancement par la navette spatiale en 1986. L'accident de Challenger cette même année entraîna un retard de plusieurs années pendant lesquelles le télescope finalisé fut conservé dans un local dédié rempli d'azote inerte pour éviter qu'il se mette à rouiller ! Alors que la navette spatiale avait repris ses vols en 1988, Hubble était lancé en 1990 par la mission STS-31, la 31ème des navettes spatiales, embarqué dans la soute de Discovery.



Mais ce chat noir de Hubble voyait trouble à cause d'un défaut d'aberration sphérique sur les bords de son miroir principal de 2,4 mètres, construit en 1981. L'erreur de 2,2 microns était due à un défaut d'assemblage et d'alignement de l'optique du système de test du miroir par interférométrie, et pour seulement 1,3 mm (*ci-dessous*)! Ce sont peut-être les mm les plus chers de l'histoire des sciences ! Ces défauts avaient d'ailleurs été détectés après la fabrication du miroir chez Perkin Elmer mais considérés comme des erreurs de mesure selon le rapport de la NASA de l'époque.

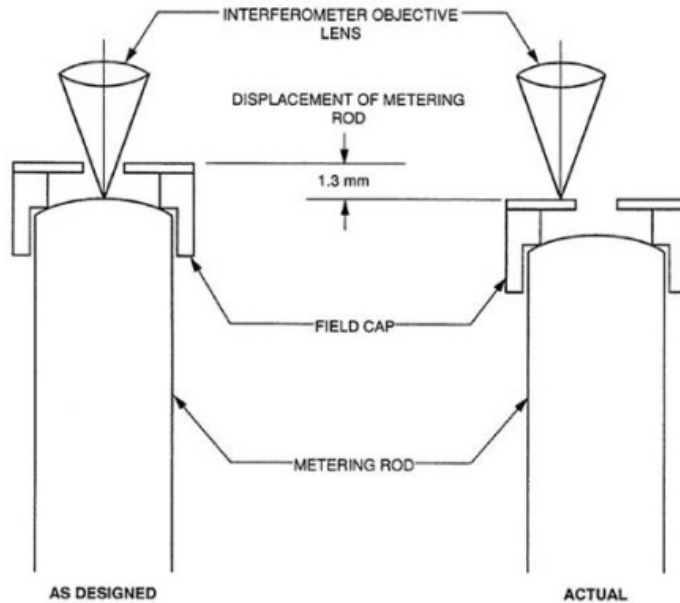


Figure 7-4. Displacement due to the interferometer focusing on the field cap instead of the metering rod.

Ce défaut handicapait une bonne part de la mission du télescope. Pour y remédier, les ingénieurs de la NASA et de ses sous-traitants lui taillèrent un COSTAR, le Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement, un système de correction optique s'intercalant entre le miroir principal et divers instruments sachant que la caméra principale était remplacée par une seconde génération de caméra, la WFPC2, dotée elle aussi d'une optique corrective annulant le défaut d'asphéricité du miroir principal.

L'ensemble fut installé en 1993 et la vue nette vint au télescope pour la plus grande joie des astronomes qui purent alors scruter l'Univers comme on ne l'avait jamais fait avant ! Ce d'autant plus que les optiques adaptatives n'étaient pas encore courantes dans les télescopes terrestres.



Depuis maintenant 24 ans, Hubble alimente sans relâche les astronomes avec de belles images (mais pas que) : la nébuleuse de Carina et les piliers de la création dans la Voie Lactée, des supernovas comme la nébuleuse du crabe à 6100 années lumières (*ci-dessous*), de magnifiques photos des planètes du système solaire comme Saturne, des lunes de Pluton ou la vue ultra-détaillée de la galaxie Andromède pour n'en citer que quelques-

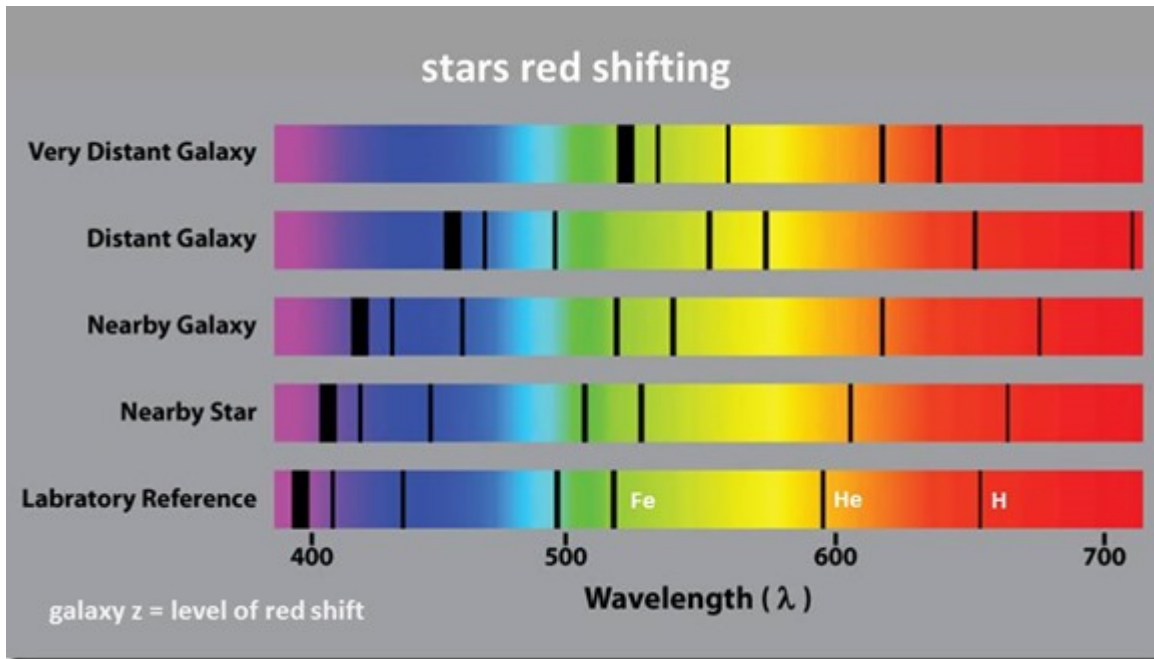
unes. Une grande majorité des plus belles photos de l'Univers nous vient de Hubble !



Hubble a aussi détecté en 2016 la galaxie la plus éloignée qui soit connue, située à 13,4 milliards d'années lumière (GNz11.1, *ci-dessous*). Elle est donc positionnée dans le temps environ 400 millions d'années après le Big bang. La numérotation GNz11.1 de cette galaxie éloignée indique juste son niveau (z) de glissement spectral vers le rouge (red shift). Plus cette valeur est élevée, plus la galaxie est éloignée.

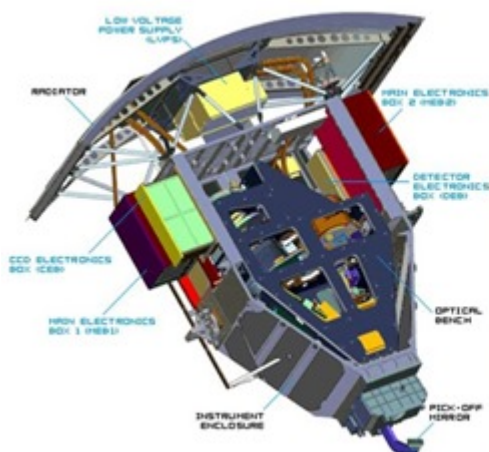


La valeur du décalage vers le rouge est basée sur une échelle de repérage dans le spectre électromagnétique de lignes spécifiques de détection de l'hydrogène, de l'hélium, du fer, du calcium et d'autres éléments divers comme l'oxyde de titane. Le red shift s'évalue comme suit avec $z = \frac{\text{longueur d'onde observée}}{\text{longueur d'onde émise}} - 1$ ou $\text{longueur d'onde observée} = (z+1) * \text{longueur d'onde émise}$ (source).



Hubble a été mis à jour plusieurs fois par des astronautes de la navette spatiale, en plus de la première intervention en 1993. La seconde fois eu lieu en 1997 avec l'ajout du spectrographe STIS, permettant la confirmation de l'existence de trous noirs au centre de galaxies, et de la caméra et du spectrographe infrarouge NICMOS. En 1999, son ordinateur central conçu pendant les années 1970 fut remplacé par 4 PCs, déjà dépassés pour l'époque, équipés de processeurs Intel 80486 et de 2 Mo de mémoire volatile et de 1 Mo de mémoire non volatile. C'est toujours avec cet équipement que le bon vieux Hubble fonctionne aujourd'hui.

En 2002, le système de réfrigération de la caméra/spectrographe infrarouge NICMOS qui était tombée en panne fut remplacé, une nouvelle caméra installée, l'ACS (Advanced Camera for Surveys) et les panneaux solaires remplacés par une version à plus haut rendement et plus petite, générant 5270 W au lieu de 4600 W. Ils sont complétés par 428 Kg de batteries permettant de tenir lorsque le télescope est dans la nuit terrestre. Celles-ci ont été remplacées en 1999. Certaines de ces missions visaient aussi à réparer ou remplacer différents autres instruments tombés en panne, donnant fort à faire aux astronautes de la Navette Spatiale jouant le rôle de techniciens de maintenance de télescope.



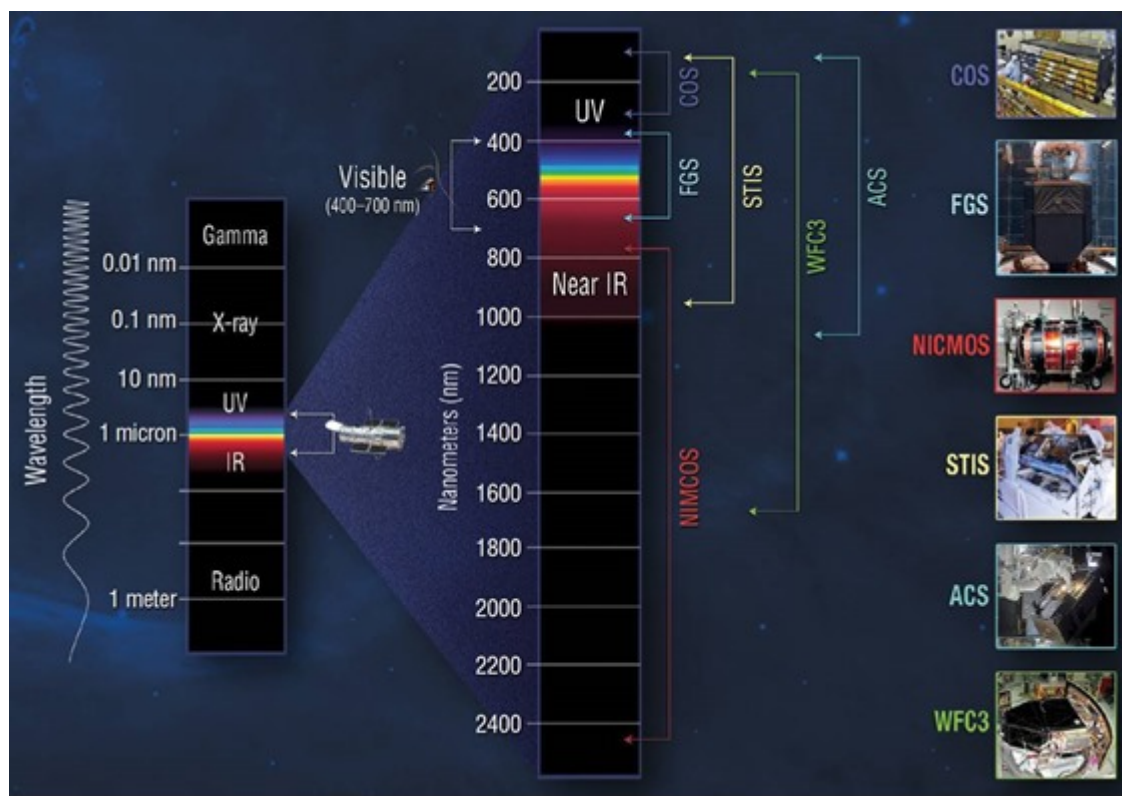
La dernière mission était celle de 2009 pour l'installation de sa dernière génération de caméra, la WFC3 (*ci-dessus*), couvrant l'ultraviolet, le visible et le proche infrarouge avec imageurs et spectrographe, et un spectrographe ultraviolet ultra précis, le COS. Au passage, le gyroscope et les batteries étaient mis à jour et le COSTAR retiré, une fois rendu inutile par l'ajout de correctifs directement sur les instruments. L'intervention de 2009 a été filmée en 3D avec une caméra IMAX, générant un film de 46 mn "IMAX Hubble 3D" [bande

annonce].

Toutes ces interventions furent possibles grâce à une architecture modulaire du télescope dans le compartiment des instruments. Il était prévu que des astronautes puisse démonter et remplacer le plus facilement possible de gros modules de la zone des instruments. Ce genre d'évolutions à répétition n'est plus envisageable depuis que la navette spatiale a cessé de fonctionner en 2013 et tant que l'on ne disposera pas de satellites-robots dignes de ce nom.

Les caractéristiques de Hubble sont imposantes : il fait 13,2 m de long, 4,2 m de diamètres et pèse 11 tonnes. Il tiendrait d'ailleurs dans la coiffe d'Ariane 5. Il est positionné en orbite terrestre basse à environ 540 km d'altitude. Ce n'est pas une orbite idéale pour un télescope spatial mais cela permettait sa maintenance par la Navette Spatiale. Sa structure supportant l'optique est dans un matériau à base de résine époxy et de graphite qui reste stable aux variations de température subies par le télescope. Il utilise quatre roues de réaction pour s'orienter, un mécanisme standard dans les télescopes spatiaux comme nous l'avons vu dans la partie précédente.

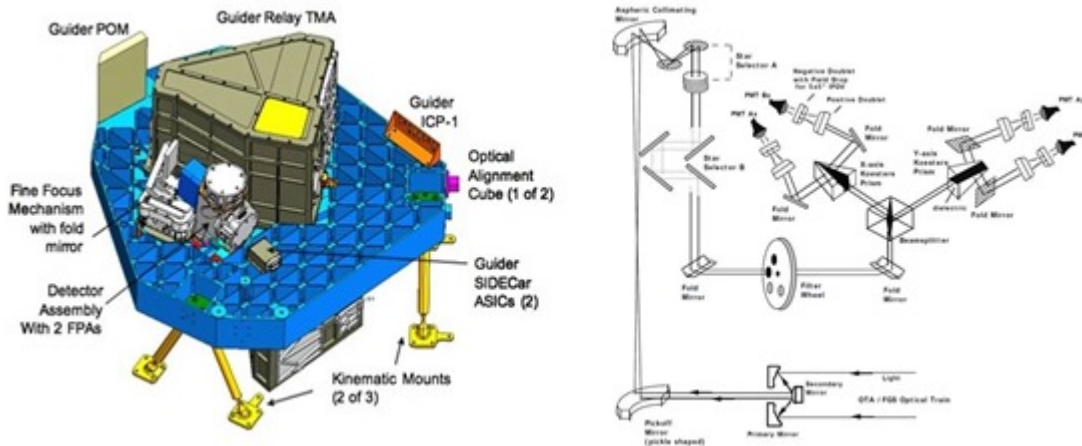
Les principales entreprises ayant participé à sa création sont **Corning** (miroir en verre), **Perkin Elmer** (polissage du miroir et dépôt de la couche d'aluminium de 65 nm d'épaisseur), **Lockheed-Martin** (vaisseau dans son ensemble) et **Ball Aerospace & Technologies Corp** (caméra ACS).



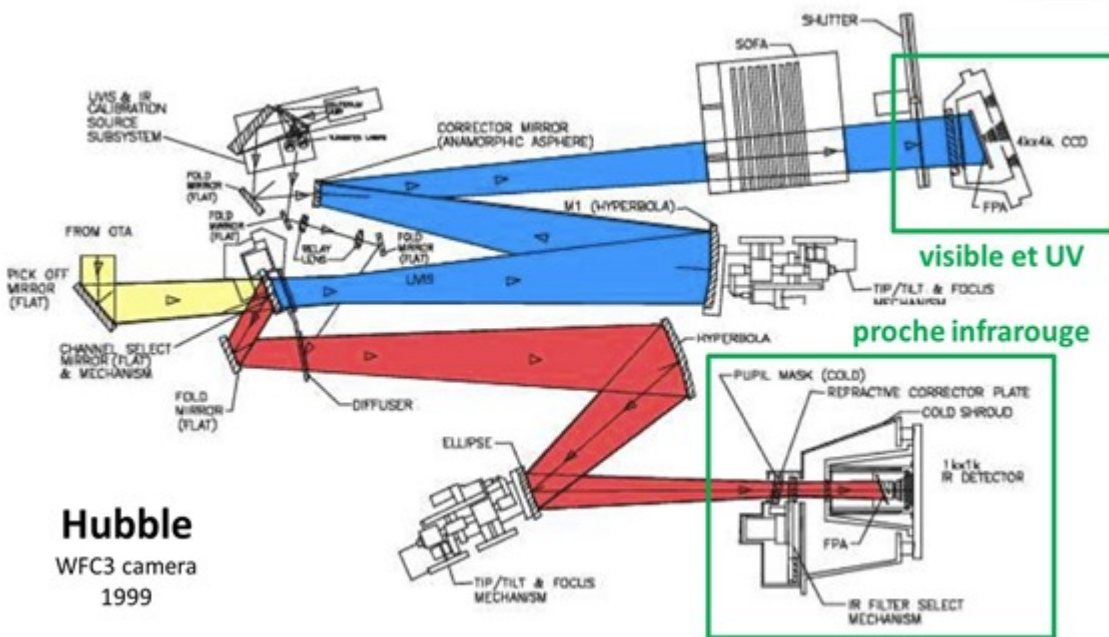
Voyons maintenant dans le détail quels sont les instruments qui équipent le Hubble Space Telescope à ce jour [source du schéma ci-dessus] :

FGS (Fine Guidance Sensors) est le système de positionnement du télescope qui s'appuie sur au moins deux étoiles guides. L'actuel FGS a été mis à jour lors de l'intervention sur Hubble de 2009. Le FGS contient trois instruments comprenant chacun un interféromètre et quatre photomultiplicateurs à tubes qui ne font que compter les photons reçus, les FGS ne générant pas d'images. L'interférométrie fonctionne en séparant le faisceau lumineux capté en deux faisceaux polarisés à 90° via un prisme de Koesters [détails dans le **FGS Instrument Handbook**]. Des trois FGS, deux servent au positionnement et un à l'astrométrie pour des usages scientifiques. Cette dernière sert notamment à détecter le diamètre d'étoiles géantes de la Voie Lactée, des

étoiles binaires et des exoplanètes.



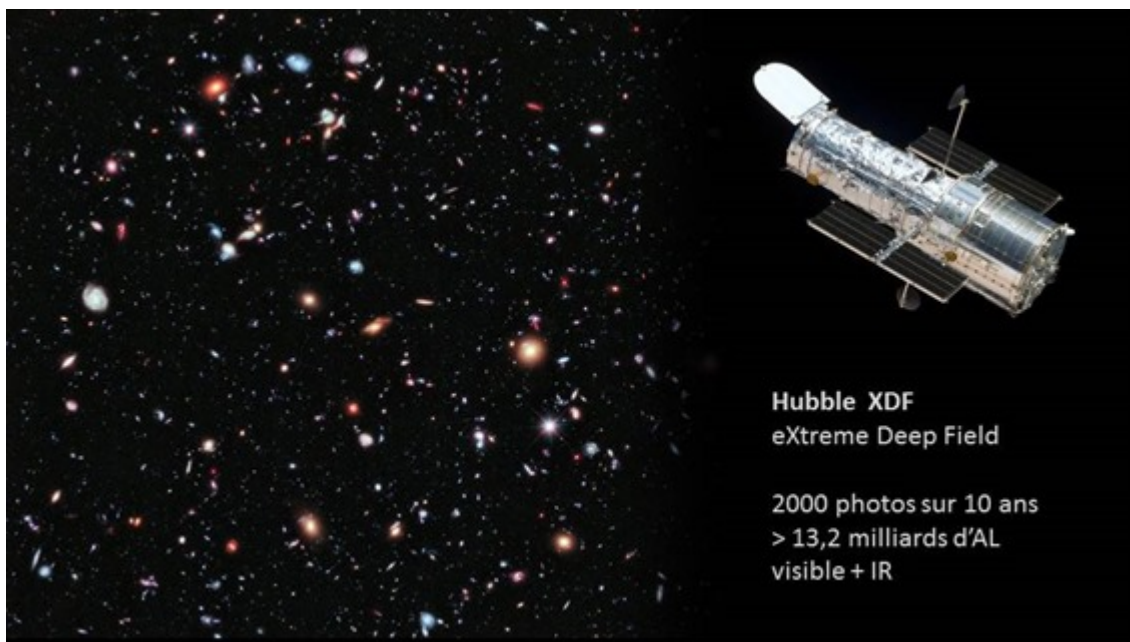
WFC3 (Wide Field Camera 3) est une caméra à champ large couvrant l'ultraviolet, le visible et le proche infrarouge. Elle est dédiée à l'observation des galaxies les plus lointaines, le milieu interstellaire ainsi que les planètes du système solaire. La lumière est envoyée par un miroir orientable vers le UVIS pour l'ultraviolet avec deux capteurs CCD de 2Kx4K pixels et 64 filtres différents, et dans le visible (200 à 1000 nm) ou le proche infrarouge (800 à 1700 nm) dans un CCD de 1Kx1K pixels via 15 filtres sélectionnables. Les capteurs ont une haute efficacité quantique, captant au moins 60% des photons pour ceux de l'UVIS et de 75% pour ceux de l'IR.



C'est au WFC3 que l'on doit la seconde photo des Piliers de la Création (*ci-dessous*) captée en 2015, un nuage de poussières de la Voie Lactée situé à environ 6500 années lumières. L'image est en fausses couleurs obtenues en mélangeant des photos réalisées dans le visible et l'infrarouge.



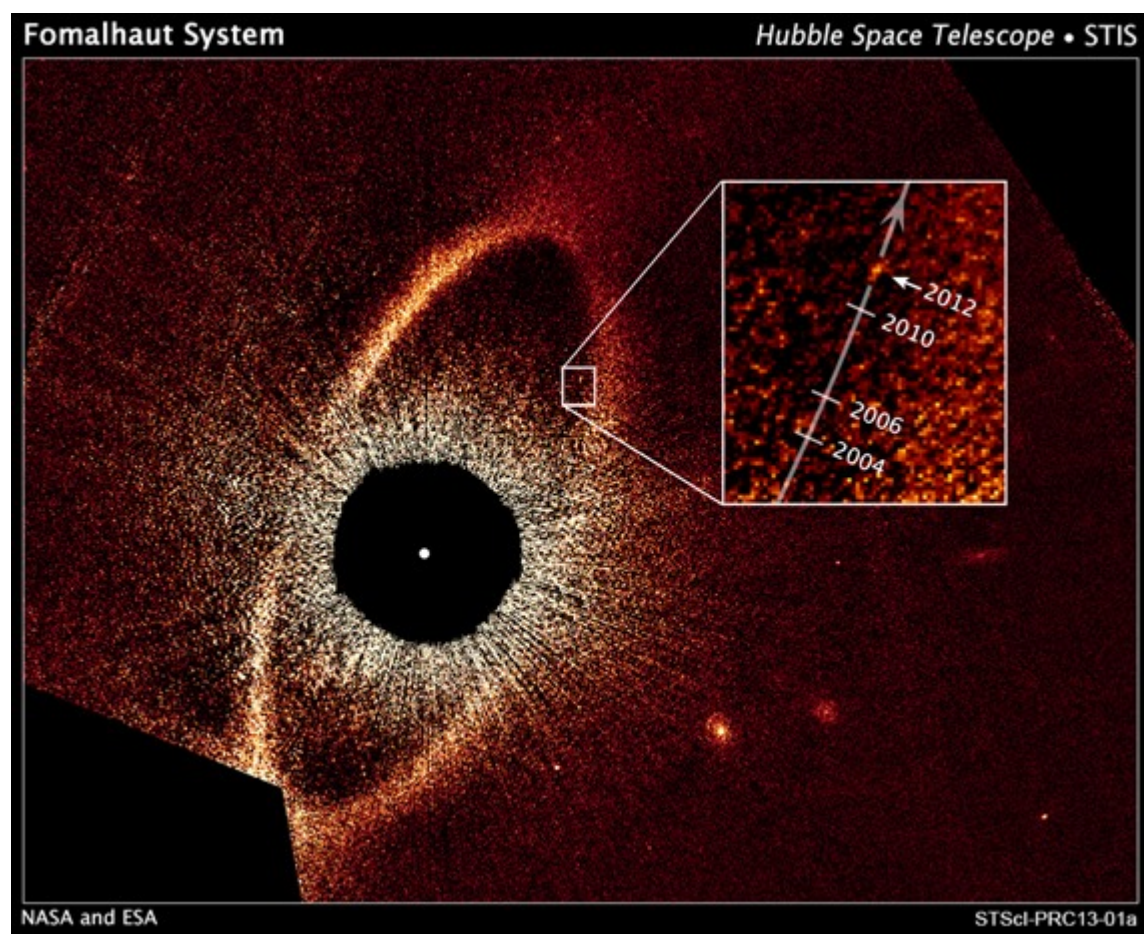
ACS (Advanced Camera for Surveys) est un instrument d'observation dans le visible et l'UV doté de plusieurs caméras : une à grand champ (WFC), une à haute résolution (HRC, hors service depuis 2007), les deux dans le visible et le proche infrarouge et enfin, une caméra dans l'UV dotée d'un spectrographe basse résolution (SBC – Solar Blind Channel). La WFC est équipée de deux capteurs CCD de 2Kx4K pixels et complétée par des filtres de couleur disposés sur deux roues concentriques superposées, un coronographe et un polarimètre. Le remplissage du buffer mémoire pour chaque prise de vue dure la bagatelle de 5 grosses minutes !



L'ACS a un gros recouvrement fonctionnel avec le WFC3. Elle est plus sensible tandis que la WFC3 a une meilleure résolution angulaire. Cet instrument a été utilisé pour générer la vue du eXtreme Deep Field (*ci-dessous*) dans la constellation du Fourneau (*source*). Les captures de photos ont duré une dizaine d'années à

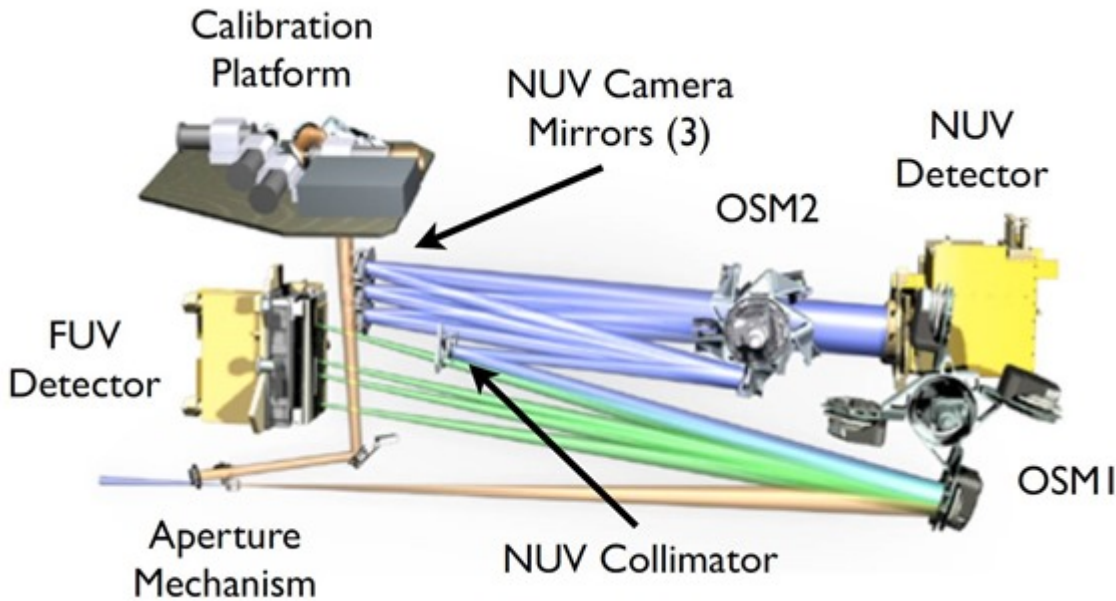
partir de 2003 ! L'image complète recense environ 5 500 galaxies. Elle a permis de revoir à la hausse, à 2 trillions, l'estimation du nombre de galaxies dans l'Univers observable. Hubble a servi à trois campagnes successives de détection de galaxies éloignées : la première était Hubble Deep Field en 1995 dans la Constellation de la Grande Ourse, puis Hubble Ultra Deep Field entre 2003 et 2004 dans la Constellation du Fourneau. L'eXtreme Deep Field est la troisième campagne, utilisant dix années de photos prises également dans la constellation du Fourneau.

STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph) est une caméra et un spectromètre à champ étroit fonctionnant dans l'ultraviolet, le visible et le proche infrarouge. Elle sert surtout à faire de la spectrographie de galaxies. Elle exploite trois capteurs CCD dont deux sont associés à des MAMA (Multi-Anode Micro-channel Array), des amplificateurs de lumière tubulaires qui alimentent les capteurs.

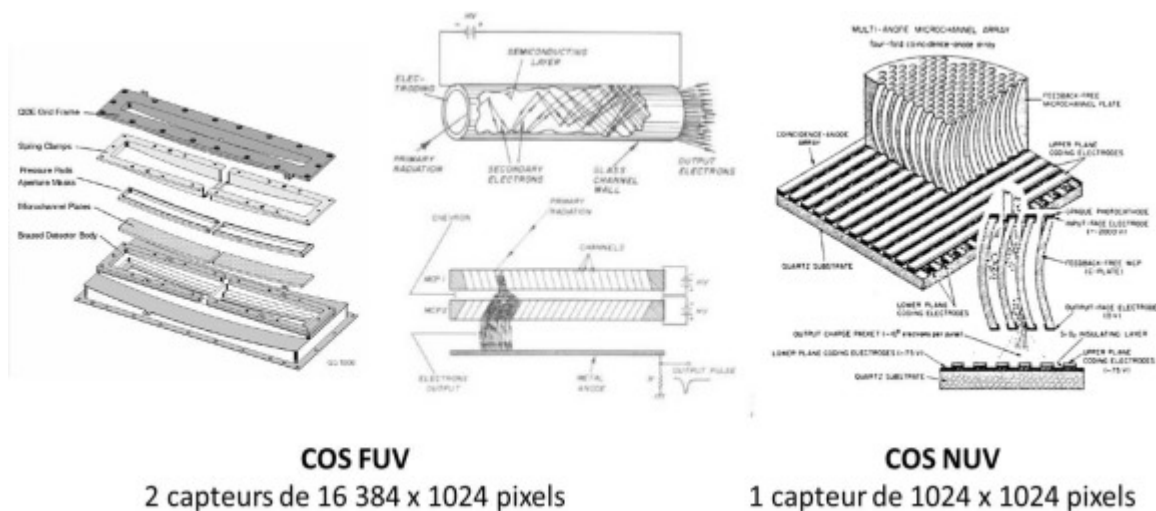


L'instrument a notamment permis de détecter une exoplanète autour de l'étoile Fomalhaut située à seulement 25 années lumières, suivant une orbite elliptique (*ci-dessus*). C'est la caméra de Hubble qui descend dans l'ultraviolet le plus lointain, à 115 nm.

COS (Cosmic Origins Spectrograph) sert à spectrographier des objets ponctuels dans l'ultraviolet lointain et l'ultraviolet proche. Il aide à détecter la matière contenue dans les galaxies et à comprendre comment elles se forment. Il scanne le champ de vision d'un seul coup et propose une résolution spectrale allant jusqu'à 17 000 raies.



La partie du COS dédiée à l'ultraviolet lointain (FUV, de 115 à 205 nm) est équipée de deux capteurs UV de 16 384 x 1024 pixels alimentée par des MCP (Micro-Channel Plates) qui amplifient la lumière dans des nanotubes. Celle qui est dédiée au proche ultraviolet (NUV, 170 à 305 nm) utilise un MAMA et un capteur de 1Kx1K pixels.



NICMOS (Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer) est une caméra et un spectromètre infrarouge entre 0,8 et 2,5 microns de longueur d'onde qui sert à détecter les galaxies lointaines ayant un fort "red shift" (décalage du spectre électromagnétique vers le rouge lié à l'effet Doppler qui s'accroît avec la distance car la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à leur distance du fait de l'inflation continue de l'Univers). L'instrument de 370 kg qui est installé dans un véritable frigo électrique à 72 K (72° au-dessus du zéro absolu) est hors service depuis 2013 en raison d'une avarie. Il était doté de trois caméras proposant un facteur d'agrandissement différent. NICMOS avait servi à produire la première photo des Piliers de la Création.

Voilà pour l'outillage bien riche embarqué dans le Hubble Space Telescope ! Pour vos recherches de photos prises par Hubble, vous pouvez utiliser le **Hubble Legacy Archive**, le **HubbleSite** et le **Mikulski Archive**. La documentation technique sur Hubble est abondante. Elle est assez bien concentrée dans ce guide de 132 pages lié à la dernière mission de sa mise à jour en 2009.

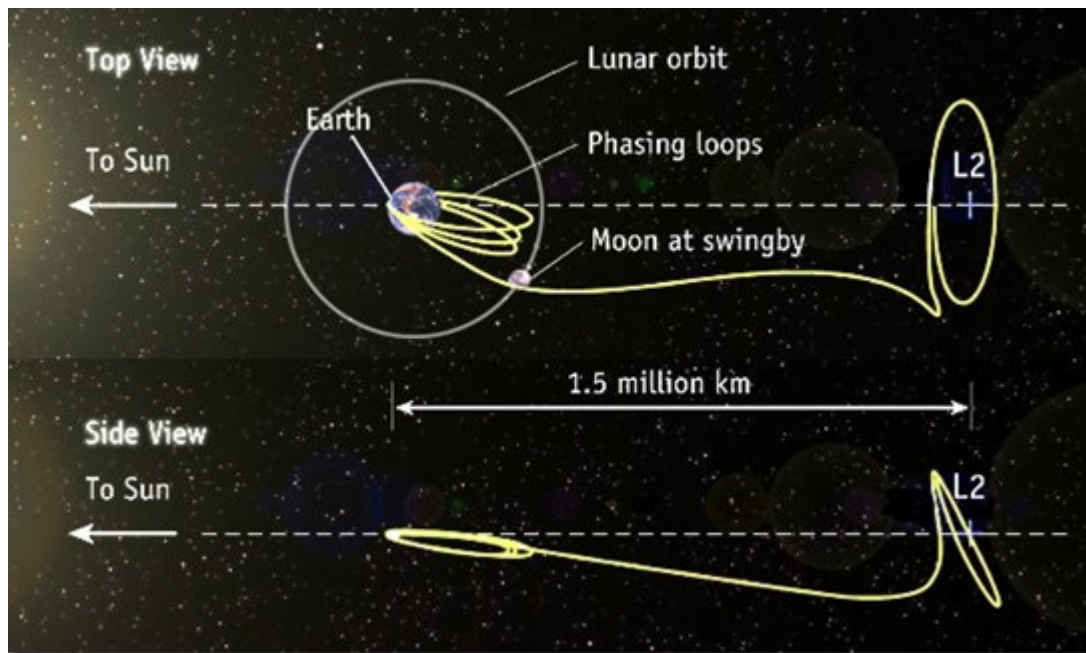
Hubble devrait rester en service au plus tard jusqu'à 2021, moment où il quittera son orbite pour rentrer dans

l'atmosphère et s'y consumer. D'ici là, le télescope JWST que nous décortiquerons dans l'épisode suivant aura en partie pris le relais de ses observations, lui qui sera opérationnel en 2019. Mais seulement dans l'infrarouge, la spécialité du JWST alors que Hubble couvre l'ultraviolet, le visible et un bout du proche infrarouge.

Gaia (2013-2023)

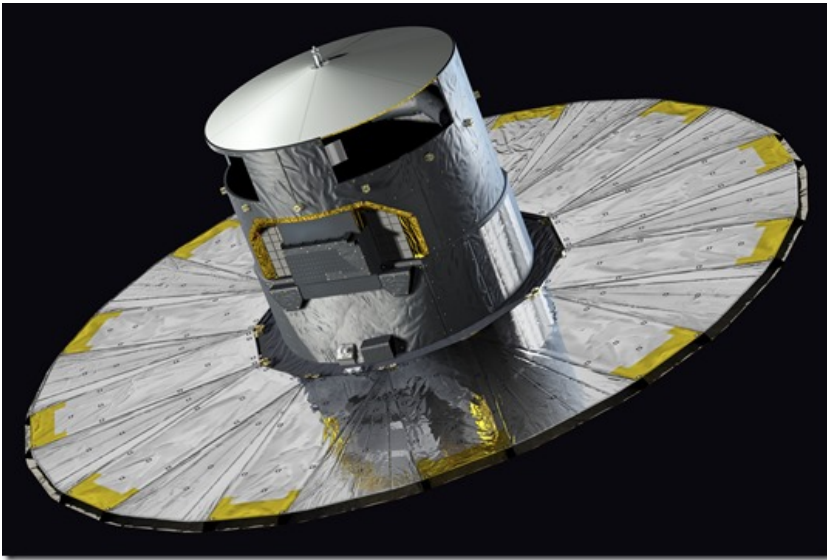
Gaia est un autre télescope spatial qui opère dans le visible. C'est une initiative européenne ambitieuse ayant coûté 960M€. Il vise à détecter un milliard d'étoiles de la Voie Lactée, les plus brillantes, soit moins d'un % de ce qu'elle contient, et d'en apprécier la distance et les mouvements avec précision. Le tout en effectuant la même observation à six mois d'intervalle, exploitant entre les deux mesures la distance de deux unités astronomiques résultant de la demi-orbite parcourue autour du soleil, comme si on disposait d'une paire d'yeux séparés de 300 millions de kilomètres pour percevoir le relief des étoiles.

Le télescope doit aussi inventorier un million de galaxies, 500 000 quasars, 10 000 supernovas, 250 000 astéroïdes, 15 000 exoplanètes de la taille de Jupiter, 200 000 étoiles naines blanches et 50 000 naines brunes. Ces différents objets seront captés 70 fois pendant la durée de vie du télescope. Le tout sera cartographié en 3D, à l'instar de la cartographie de galaxies réalisée par le Sloan Foundation Telescope vu dans une **partie précédente**. Il permettra de mieux comprendre la structure et la dynamique de la Voie Lactée.

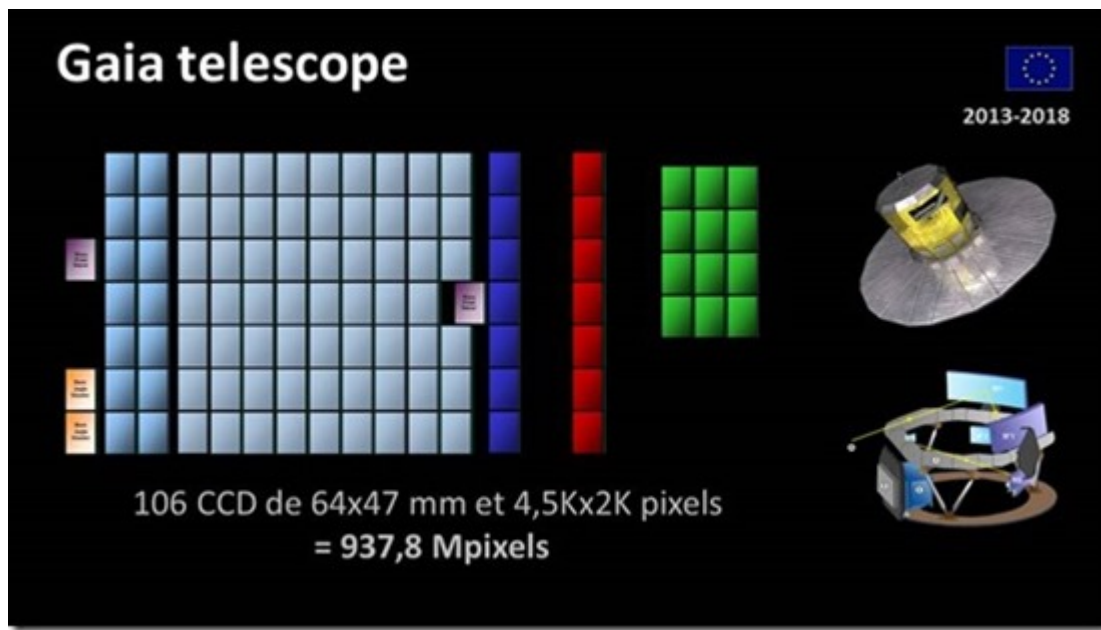


Le télescope a été lancé en 2013 à partir de la base de Kourou en Guyane française via un lanceur russe Soyouz et placé en orbite solaire autour du point de Lagrange L2 situé à 1,5 millions de kilomètres dans l'axe Soleil-Terre. Il est en fait positionné sur une orbite elliptique de Lissajous de 340 000 x 90 000 km et de 180 jours de période, autour de ce point de Lagrange (*ci-dessus*). Cette orbite a une apogée voisine de celle de l'orbite circulaire de la Lune autour de la Terre.

La fin de la mission est prévue en 2023, concluant une mission d'une durée de 10 ans classique pour ce genre de télescope. Le consommable ? Un microgramme d'azote est éjecté par jet d'ajustement de la position du télescope. Il est construit par le français Astrium (Airbus Defense & Space Systems depuis 2014). Les miroirs et la structure porteuse des instruments sont réalisés en carbure de silicium par le français Boostec.



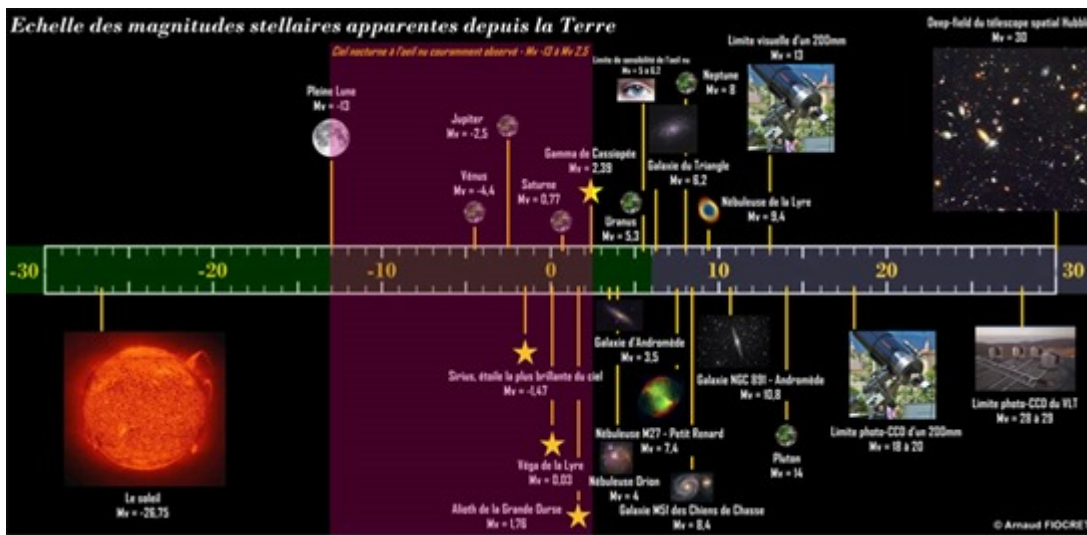
Gaia comprend un arrangement original avec deux miroirs primaires de 1,45 m x 0,45 m qui alimentent un plan de focale comprenant 106 capteurs CCD de 4500×1966 pixels totalisant 937,8 mpixels et faisant 45 x 59 mm soit à peu près l'équivalent d'un capteur double-format d'appareil photo de studio Hasselblad, mais avec des pixels bien plus grands et sensibles, de 10×30 microns. L'ensemble de ces capteurs fait un total de 93 cm x 42 cm, un record dans un télescope spatial.



Le satellite est orienté à 45° par rapport au Soleil et tourne sur lui-même par périodes de 6 heures. Les deux miroirs lui donnent deux angles de vue séparés de $106,5^\circ$ et illuminent simultanément le même plan de focale. Ce plan comprend quatre catégories de capteurs :

- Le **Wavefront Sensor** (WFS) qui sert à corriger l'optique du télescope avec deux CCD.
- Le **Sky Mapper** (SM) qui détecte les objets de magnitude 20 entrant dans le champ de vision par la gauche, avec 14 capteurs CCD, 7 par miroir primaire.
- L'**Astrometric Field** (AF), avec 62 CCD, qui mesurent la position angulaire et fournissant pour chaque objet leur position (deux angles), leur vitesse (deux dérivées de leur position) et leur parallaxe (distance).

- Les **BP** et **RP** (photomètres bleus et rouges), avec chacun 7 CCD, fournissant une mesure spectrophotométrique des objets dans le bleu (330–680 nm) et le rouge (640–1050 nm).
- Le **Radial-Velocity Spectrometer (RVS)**, avec 12 CCD dans un arrangement de 3×4 , récupérant le spectre des objets dont la luminosité dépasse une magnitude de 17. Dans l'échelle des magnitudes observables, plus le nombre est élevé, moins l'objet observé est lumineux. Chaque point de magnitude ajouté correspond à une division par 2,5 de la radiance. Les objets les moins lumineux observés à ce jour ont une magnitude de 30. Le télescope européen E-ELT étudié dans une **partie précédente** atteindra une magnitude de 34.



Les trois dernières catégories de capteurs CCD fonctionnent de manière sélective : seule la partie des CCD qui détecte des objets est lue. Jusqu'à 20 objets peuvent être identifiés simultanément.

Ces capteurs génèrent 50 Go de données par jour, soit 1 Po pendant la durée de vie du télescope. L'envoi des données par le télescope consomme 300 W et est réalisé dans la bande X – entre 8 et 12 GHz – avec un débit inférieur à 8,7 Mbits/s. Leur réception a lieu sur Terre avec les antennes Cerebros d'Avila en Espagne et de New Norcia à Perth en Australie. Pour exploiter ces données, il faut une équipe de 300 personnes sur 7 ans d'étude qui sont notamment installées à Cambridge (UK).

En effet, ce n'est pas le tout de capter des zillions d'images ! Il faut pouvoir en tirer parti !

Dans la **partie suivante**, nous passerons aux télescopes spatiaux fonctionnant principalement dans l'infrarouge. C'est celle qui donne lieu aux plus gros investissements, avec l'imposant et très sophistiqué **James Webb Space Telescope** qui coûtera aussi cher que Hubble, soient environ \$10B. Les télescopes que nous examinerons seront plus nombreux avec **WISE**, **Spitzer**, **Herschel**, **JWST**, **Euclid**, **Spectr-R**, **WFIRST** et le cas particulier du télescope **SOFIA** de la NASA, embarqué dans un Boeing 747.

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 1 août 2017 et édité en PDF le 23 mars 2024.

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