



Opinions Libres

Le blog d'Olivier Ezratty

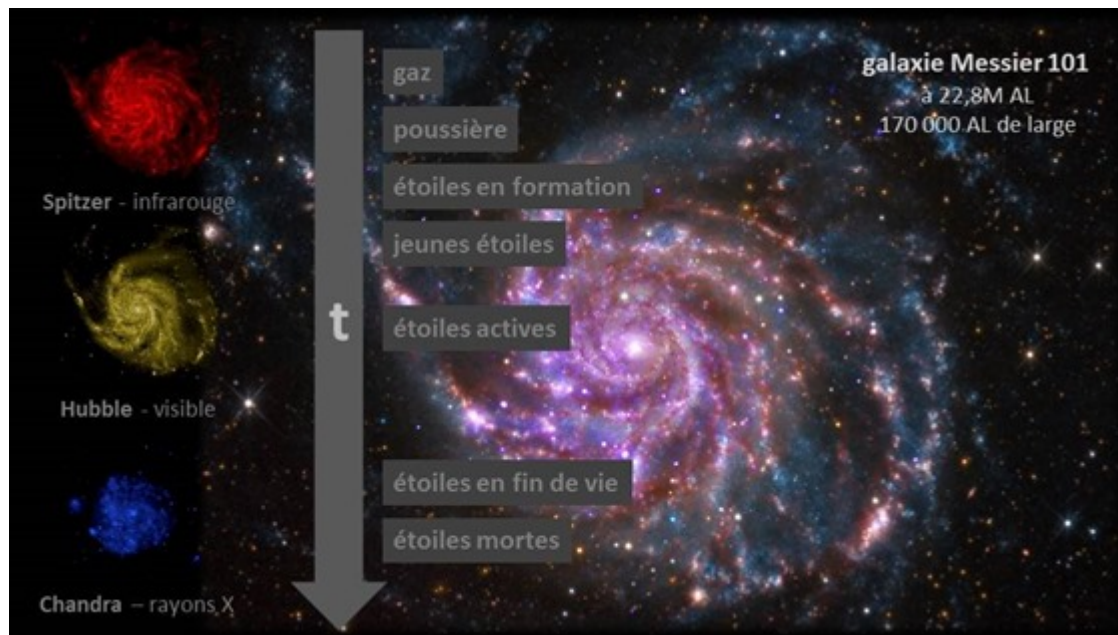
innovation,
startups,
médias numériques,
marketing,
& ...

De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux

Les télescopes spatiaux ont été imaginés pour la première fois par Hermann Oberthin en 1923 puis proposés par Lyman Spitzer en 1946 dans "Astronomical Advantages of an Extra-Terrestrial Observatory" pour s'affranchir de l'atmosphère qui empêche l'observation de certaines ondes (rayons X, gamma, UV lointain) et qui déforme la lumière qui la traverse.

De nombreux télescopes spatiaux ont ainsi été envoyés dans l'espace, en orbite basse, pour observer le Soleil, la Voie Lactée, les galaxies, et tout cela en couvrant presque tous les pans du spectre électromagnétique, bien au-delà du visible. Entre temps, des progrès significatifs ont été réalisés avec les télescopes terrestres, notamment ceux qui opèrent dans le visible et le proche infrarouge. Comme nous l'avons vu dans les deux précédentes parties de cette série, les perturbations de l'atmosphère (diffraction, diffusion) sont désormais traitées en grande partie grâce aux optiques adaptatives et aux systèmes de calibrage utilisant des lasers au sodium. Ces systèmes rendent quasiment obsolète un télescope spatial comme Hubble fonctionnant uniquement dans le domaine du visible, du proche ultra-violet et du proche infrarouge, au point qu'il est maintenant plus simple et surtout moins cher de construire un grand télescope sur terre dans le visible que d'en envoyer un dans l'espace. Ainsi de nos jours, les télescopes spatiaux complètent les télescopes terrestres.

Les télescopes spatiaux servent parfois à réaliser des repérages qui sont ensuite approfondis par des télescopes terrestres. Ils se complètent aussi les uns les autres comme le montre cette image composite de la galaxie Messier 101, dite du Moulinet, réalisée en fausses couleurs à partir de prises de vue dans l'infrarouge avec le télescope spatial Spitzer, dans le visible avec Hubble et dans les rayons X avec Chandra.



Nous allons d'abord nous intéresser aux particularités des télescopes spatiaux avant de les étudier catégorie par catégorie dans les parties qui suivront. Vous ne voyez pas encore la couleur des entrepreneurs de l'espace promis par le titre de cette longue série d'articles ? Patience ! Cela arrivera surtout vers la fin !

En préparant cette partie et en parcourant les spécifications techniques de nombre de satellites, j'en ai extrait leurs particularités qui sont nombreuses et que voici. Cela permet de répondre à quelques questions de bon sens : quels sont les instruments embarqués dans les télescopes spatiaux ? quelle est leur source d'énergie ? comment les pointe-t-on avec précision dans la bonne direction ? comment récupère-t-on les données qu'ils produisent ? quelle est leur durée de vie et combien coûtent-ils ?

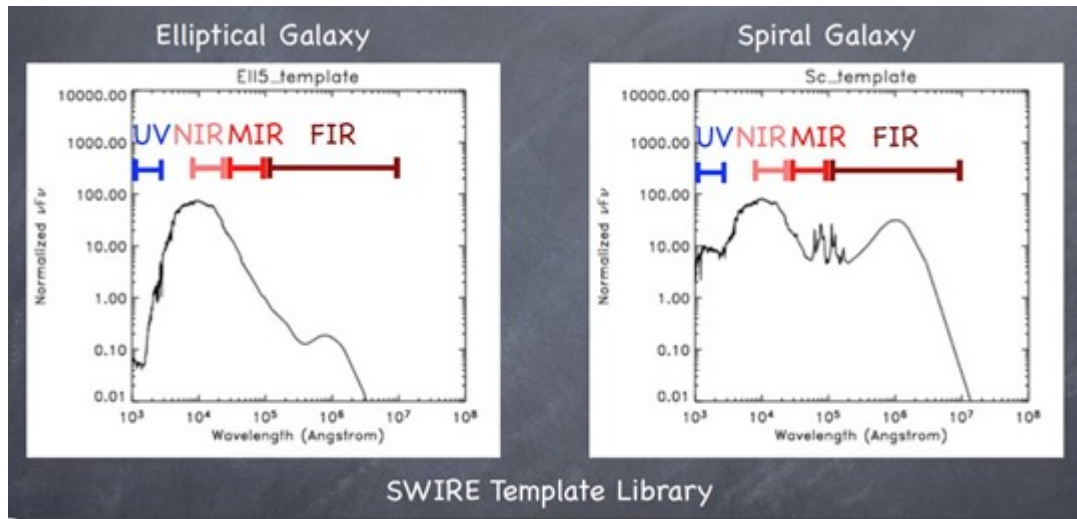
Les bandes de fréquences observées

Faisons le tour du spectre électromagnétique exploré par les télescopes spatiaux et des domaines d'application de chaque bande de fréquences :

- Les **rayons gamma** sont une des composantes des rayons cosmiques qui comprennent aussi des particules chargées comme des protons et des électrons. Ils sont notamment générés par la fission nucléaire et la dégradation d'isotopes radioactifs (cf tableau *ci-dessous*), l'interaction de particules chargées (protons, électrons) à haute énergie avec des champs de radiation intenses ou encore par l'annihilation de matière et d'antimatière. Ils permettent notamment de détecter la naissance des trous noirs résultant de l'effondrement gravitationnel d'étoiles très massives, qui produisent des sursauts gamma brutaux, ainsi que des pulsars et des restes de supernovas. Les rayons gamma révèlent aussi les interactions entre les rayons cosmiques et le milieu interstellaire. Ce sont les rayons électromagnétiques connus les plus énergétiques. Les ondes électromagnétiques sont transportées unitairement dans des photons et l'énergie de ces photons est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique. Or, les rayons gamma sont de fréquence électromagnétique très élevée tandis qu'à l'autre bout du spectre, les rayons infrarouges et les ondes radio sont les moins énergétiques. A noter que les rayons gamma de très haute énergie, au-delà du TeV, sont captés par des détecteurs terrestres de type Cherenkov. J'ai fait l'impasse sur ce type de télescope dans les parties précédentes !

Isotope	Mean Lifetime	Decay Chain	γ -Ray Energy (keV)
${}^7\text{Be}$	77 d	${}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li}^*$	478
${}^{56}\text{Ni}$	111 d	${}^{56}\text{Ni} \rightarrow {}^{56}\text{Co}^* \rightarrow {}^{56}\text{Fe}^* + e^-$	158, 812; 847, 1238
${}^{57}\text{Ni}$	390 d	${}^{57}\text{Co} \rightarrow {}^{57}\text{Fe}^*$	122
${}^{22}\text{Na}$	3.8 y	${}^{22}\text{Na} \rightarrow {}^{22}\text{Ne}^* + e^-$	1275
${}^{44}\text{Ti}$	89 y	${}^{44}\text{Ti} \rightarrow {}^{44}\text{Sc}^* \rightarrow {}^{44}\text{Ca}^* + e^-$	78, 68; 1157
${}^{26}\text{Al}$	$1.04 \cdot 10^6$ y	${}^{26}\text{Al} \rightarrow {}^{26}\text{Mg}^* + e^-$	1809
${}^{60}\text{Fe}$	$2.0 \cdot 10^6$ y	${}^{60}\text{Fe} \rightarrow {}^{60}\text{Co}^* \rightarrow {}^{60}\text{Ni}^*$	59, 1173, 1332
e^-	$\dots \cdot 10^6$ y	$e^- + e^- \rightarrow \text{Ps} \rightarrow \gamma\gamma..$	511, <511

- Les **rayons X** visualisent les étoiles en fin de vie, les restes d'étoiles mortes et les étoiles à neutrons ainsi que les émissions de gaz chaud. Nombre de télescopes spatiaux couvrent à la fois les rayons X et gamma. Les rayons gamma et X sont décrits par leur énergie, en keV/MeV/GeV/TeV - kilo/méga/giga/tera électrons-volts, et non pas en fréquence ou longueur d'onde comme pour les fréquences allant de l'ultra-violet aux ondes radio qui sont de très basse énergie.
- L'**ultra-violet** permet de détecter les objets célestes qui se rapprochent de nous par effet Doppler, dans ce cas, avec une longueur d'onde qui raccourci. L'UV détecte bien la matière baryonique (atomes) et la composition chimique des objets observés : planètes, étoiles, amas d'étoiles, nuages intergalactiques, galaxies et galaxies à noyau actif. Les UVs détectent les transitions par résonance des atomes et ions, servent à étudier les plasmas de température comprise entre 3 000K et 300 000 K. Ils détectent aussi les transitions électroniques de molécules abondantes comme l'hydrogène neutre H₂ (qui est aussi détecté en radiofréquence à 1420 MHz), OH, CO et les PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon), des composés organiques simples. On se sert donc des UV pour qualifier l'atmosphère des exoplanètes.
- Le **visible** (0,3 à 0,7 microns) sert à observer les étoiles actives similaires au Soleil, les galaxies proches, les planètes du système solaire et les exoplanètes d'étoiles proches dans la Voie Lactée, par interférométrie optique qui est peu pratiquée avec les télescopes spatiaux. Il est notamment employé par Kepler (détection d'exoplanètes par la méthode des transits que nous détaillerons dans un prochain article) et Gaia (cartographie des étoiles de la Voie Lactée).
- Le **proche infrarouge** (0,7 à 2 microns) détecte la poussière chauffée par la lumière des étoiles, les étoiles rouges géantes, les étoiles rouges froides, qui sont des étoiles petites et moins chaudes que le Soleil, ainsi que les étoiles en formation et les jeunes étoiles. On s'en sert beaucoup dans la détection et la caractérisation d'exoplanètes.
- L'**infrarouge moyen** (2 à 4 microns) explore les planètes, les comètes, les astéroïdes, la poussière chaude, les disques protoplanétaires, les galaxies très distantes (à fort décalage vers le rouge, ou "high redshift"), les molécules complexes (PAH, comme pour l'UV). L'IR lointain sera l'apanage du JWST.
- L'**infrarouge lointain** (4 à 1000 microns) analyse la poussière froide, les régions centrales des galaxies, les nuages moléculaires froids, les galaxies avec un noyau actif (AGN) et les galaxies en spirale (cf leur spectre caractéristique à droite du schéma *ci-dessous*).



- Les **ondes radio millimétriques** (1 mm à 1 cm) ou micro-ondes) permettent d'observer le CMB (fond diffus cosmologique), les nuages denses et froids et le gaz CO. Le CMB était notamment observé par le télescope spatial Spitzer qui est maintenant à la retraite.
- Les **ondes radio centimétriques** (1 cm à 1m) permettent de détecter les nuages d'hydrogène neutre qui déterminent la structure des galaxies et du milieu interstellaire. On les détecte avec la raie d'émission de l'hydrogène H1 de 21 cm comme vu dans la partie sur les radiotélescopes. On y détecte aussi l'eau. Et aussi le rayonnement d'électrons énergétiques que l'on trouve dans les régions chaudes autour des étoiles.

La tendance générale est à délaisser l'exploration dans le visible. Tout d'abord, il ne représente qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique, qui est de mieux en mieux couverte par les télescopes terrestres maintenant généralement dotés d'optiques adaptatives. Ensuite, les rayons gamma, X, ultra-violet et infrarouge lointains ne peuvent être étudiés sur Terre et promettent des découvertes scientifiques : l'infrarouge permet de mieux remonter dans le temps dans l'histoire de l'Univers, et les rayons X et gamma permettent de détecter des phénomènes extrêmes générés par les étoiles à neutrons et trous noirs, améliorant notre compréhension du cycle de vie des galaxies. Le visible reste cependant utilisé dans l'espace pour la détection des exoplanètes par la méthode des transits.

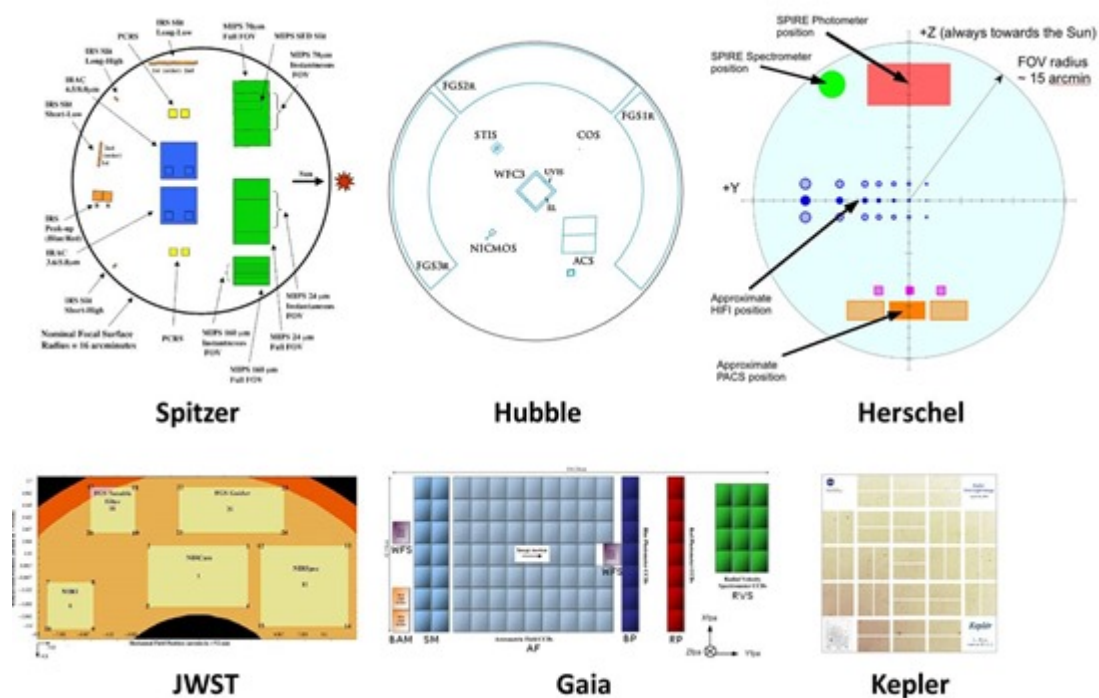
Nombre de télescopes spatiaux exploitent plusieurs de ces bandes de fréquences, notamment autour du visible, ou associant rayons gamma, X et ultra-violet. Ces derniers télescopes peuvent aussi réaliser leur pointage à l'aide d'une caméra dans le visible qui se repère sur des étoiles connues de la voûte céleste.

La diversité de leurs instruments

Du fait des limitations physiques des coiffes des fusées qui les envoient dans l'espace, les télescopes spatiaux sont pour l'instant limités par la dimension totale de leur **miroir**. Ils excèdent rarement trois mètres, ce qui a abouti aux solutions de miroirs en plusieurs parties et qui se déploient après leur lancement. C'est le cas pour le James Webb Space Telescope avec son miroir (déplié) de 6,2 m d'envergure, ou pour le LUVOIR qui sera envoyé dans l'espace bien plus tard.

Le cheminement de la lumière dans les télescopes spatiaux est voisin de celui des télescopes terrestres entre l'ultra-violet et l'infrarouge. Il passe souvent par un miroir principal puis par un miroir secondaire qui éclaire alors un plan de focale (c'est le dispositif Cassegrain). Sur ce plan de focale, la lumière est récupérée selon un agencement assez variable selon les télescopes. Elle suit alors un chemin plus ou moins tortueux pour atteindre divers capteurs CCD ou autres, via

des miroirs semi-réfléchissant ou dichroïques (qui laissent passer certaines couleurs/fréquences d'un côté et de l'autre), et différents prismes pour la spectrographie et autres filtres. On trouve des agencements dans un cercle comme pour Spitzer, Hubble et Herschel, ou en rectangle pour le JWST, Gaia et Kepler. Cela va d'une très grande diversité de capteurs comme pour Hubble, JWST ou Spitzer à une matrice de capteurs identiques comme pour Kepler (*ci-dessous*, un assemblage de plans de focale variés). Ne vous inquiétez pas, nous allons revenir sur chacun de ces télescopes un par un.



Les rayons X nécessitent un traitement particulier : passant au travers des miroirs à faible incidence, on est obligé d'utiliser des miroirs concentriques parabolique où les rayons sont réfléchis avec une incidence proche de 90° , qui est la seule possible. Quand aux rayons gamma, ils traversent toute matière donc ne peuvent être réfléchis par un miroir. On utilise d'autres artifices pour capter leur orientation comme des masques d'encodage que nous aurons le loisir d'explorer dans l'article les concernant.

Les instruments embarqués dans les télescopes spatiaux peuvent être aussi nombreux que sur certains télescopes terrestres. Ils sont cependant un peu plus miniaturisés et plus légers que leurs homologues terrestres.

Ils utilisent des **capteurs CCD** divers pour l'imagerie dans l'ultraviolet, dans le visible et l'infrarouge proche et moyen et d'autres types de capteurs pour les rayons gamma, X et radio.

Les CCDs sont complétés de **filtres de couleur** interchangeable pour décomposer la lumière, plus qu'avec les trois couleurs primaires utilisées dans le visible par nos yeux et appareils photo, et jusqu'à une dizaine. Dans certains télescopes, les instruments semblent parfois redondants. Ils ont cependant diverses caractéristiques qui les distinguent et avec des compromis différent : en angle de vue (champ large, champ étroit), en sensibilité, en dynamique, en résolution angulaire et en résolution spectrale dans le cas des spectrographes.

Pour l'infrarouge, les capteurs CCDs utilisent des semi-conducteurs qui possèdent une bande interdite plus étroite qui est le différentiel d'énergie entre les électrons mobiles et les électrons de valence qui ne participent pas aux phénomènes de conduction électrique [**source**]. Les semi-

conducteurs les plus couramment utilisés pour ces CCDs sont le tellure de mercure-cadmium et l'antimoniure d'indium pour le proche infrarouge et l'arséniure de silicium pour l'infrarouge moyen.

Des **bolomètres** sont utilisés pour capter l'infrarouge lointain ainsi que les ondes radio. Ce sont en fait des thermomètres qui sont chauffés par les rayons électromagnétiques et dont on mesure la résistance qui dépend de la température.

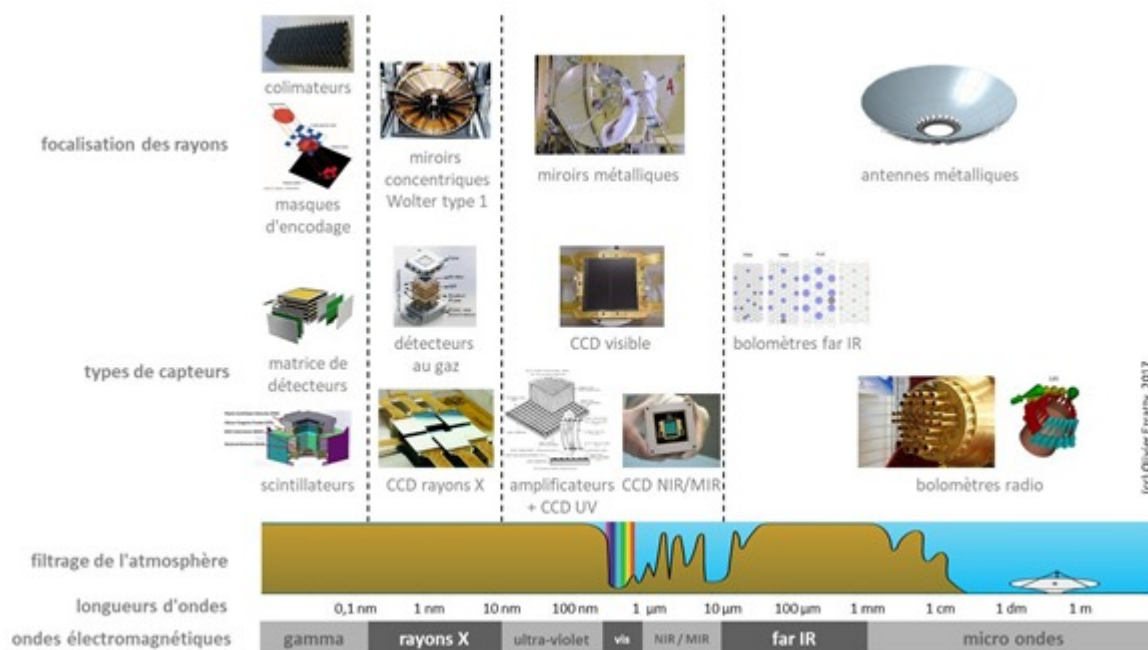
Des **scintillateurs**, **capteurs au gaz** et autres capteurs divers servent à la détection des rayons gamma et des rayons X à haute énergie.

Les **spectrographes** décomposent le spectre reçu en fréquences. La forme du spectre révèle la nature des objets observés, comme celle de corps noir, ou le type de galaxie et d'étoile. Les étoiles en formation, jeunes ou en déclin ont toutes un spectre très caractéristique. Les pics d'émission ou les creux d'absorption permettent d'identifier les matières et gaz émetteurs ou absorbés. Et comme la durée de vie des satellites est finie, le rendement des observations est important. Cela explique l'effort mis dans la conception de systèmes de spectrographie d'objets multiples tels que le NIRspec du JWST que nous verrons plus loin.

Les **polarimètres** sont des instruments qui mesurent la polarité des champs électromagnétiques reçus. Les champs polarisés révèlent des objets où l'activité magnétique est très intense, comme autour des étoiles à neutrons et des trous noirs.

Les **coronographes** servent à occulter une étoile ou tout autre objet céleste pour analyser son environnement tel que les exoplanètes d'une étoile. Cela permet aux capteurs de ne pas être éblouis par l'objet caché.

Voici une synthèse visuelle des moyens de focaliser les rayons captés et de les analyser selon les bandes de fréquences. C'est très approximatif pour ce qui concerne les rayons gamma, où les moyens de détection sont très nombreux.



A noter que certains télescope spatiaux ne sont pas indépendants, mais peuvent être installés

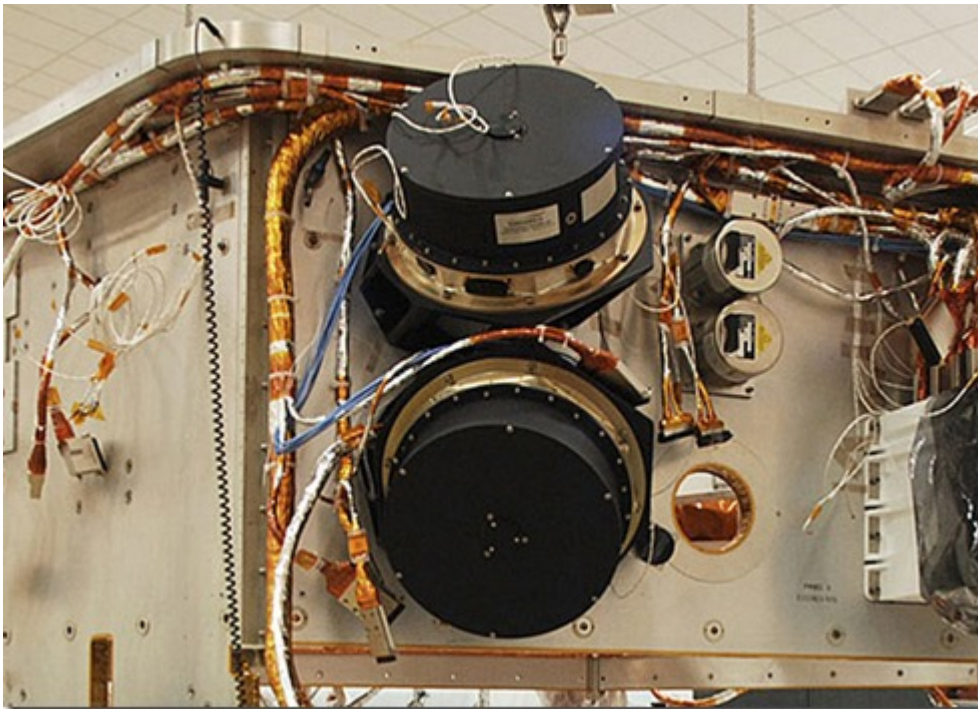
dans des installations plus grandes comme l'ISS. C'est le cas de NICER qui sert à l'étude des étoiles à neutrons et de CREAM pour l'étude de rayons cosmiques.

Leurs sources d'énergie

Les instruments de bord des télescopes spatiaux sont généralement alimentés par des panneaux solaires et des batteries associées. Leur durée de vie n'est pas un facteur limitant pour ces télescopes même si les panneaux solaires peuvent se dégrader avec le temps, via la réception de micro-météorites. L'alimentation nécessaire au télescope peut représenter plusieurs centaines de Watts.

Pour se déplacer en orbite ou maintenir leur orbite, les télescopes spatiaux peuvent faire appel à de petites tuyères qui envoient du gaz de propulsion ou un comburant et un carburant. La réserve de gaz étant finie, cela peut limiter la durée de vie du télescope. Ces propulseurs qui utilisent souvent de l'hydrazine servent surtout à maintenir le télescope sur son orbite.

L'alimentation électrique provenant des panneaux solaires permet aussi d'actionner des roues d'inertie qui permettent au télescope de changer d'orientation, sans changer de position. Une roue tourne dans un sens et le reste du satellite dans l'autre sens par réaction. Il faut de trois à quatre roues pour pouvoir se placer dans n'importe quelle direction. La rotation du télescope sur ses trois axes est assez lente, les roues ayant une masse très inférieure à celle du satellite.



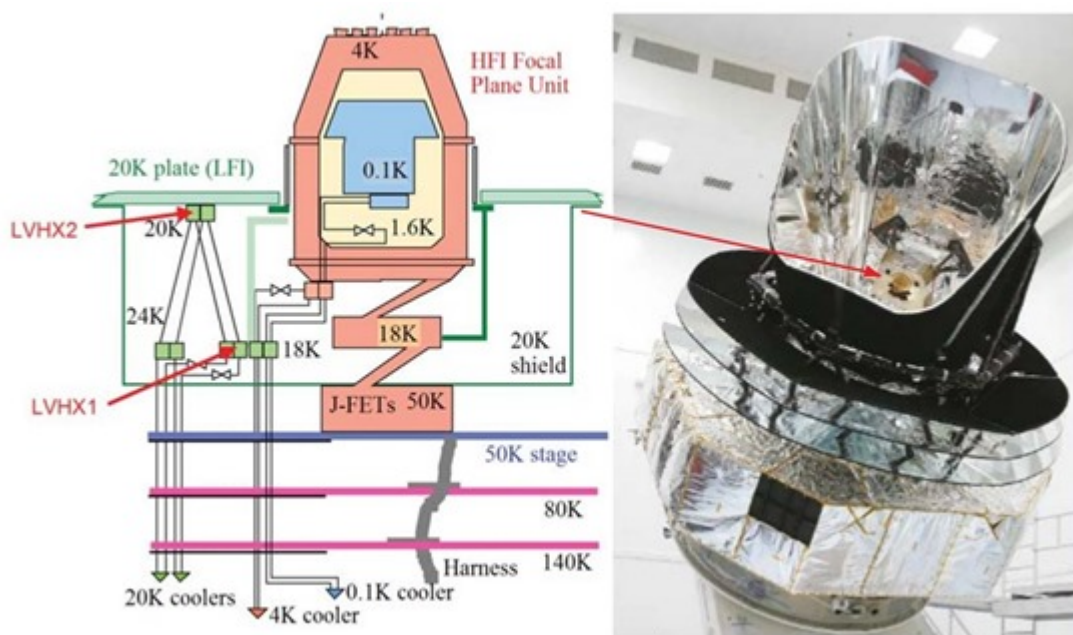
L'une de ces roues de positionnement a fait défaut au télescope Kepler qui a du rester dans une orbite stable et utiliser ses propulseurs à la place pour bien rester en position (*ci-dessus*, deux des quatre roues de positionnement de Kepler). Cela a mis en danger sa mission en 2013 mais celle-ci a toutefois pu se poursuivre presque sans encombres depuis lors [source].

La cryogénie des instruments

Pour diminuer la captation de bruit ambiant ("dark current"), les capteurs infrarouges des télescopes doivent être refroidis. Sur Terre, cela ne pose pas de problème particulier. Il y a de la place et de l'énergie à volonté.

L'espace est plus contraignant car le refroidissement cryogénique des instruments utilise soit de l'hélium soit de l'azote liquide. La réserve correspondante va limiter la durée d'usage des instruments dans l'infrarouge moyen. Les instruments dans l'infrarouge proche doivent être refroidis à 77K (77 degrés au-dessus du zéro absolu qui est à -273°C), ceux de l'infrarouge moyen doivent l'être à 4K et ceux de l'infrarouge lointain doivent l'être à seulement 100 mK, soit un dixième de degré au-dessus du zéro absolu.

Les instruments qui fonctionnent dans le visible et le très proche infrarouge peuvent être refroidis de manière passive avec des radiateurs en deux parties : des collecteurs de chaleur près des instruments, et des radiateurs qui la diffusent dans l'espace. Cela reprend le principe du refroidissement passif des CPU et GPU des ordinateurs personnels. Sans ventilation car la chaleur se dissipe par rayonnement... et un ventilateur ne sert à rien dans l'espace car on est dans le vide !



Ci-dessus, l'installation de cryogénie du télescope infrarouge Spitzer avec ses différents étages.

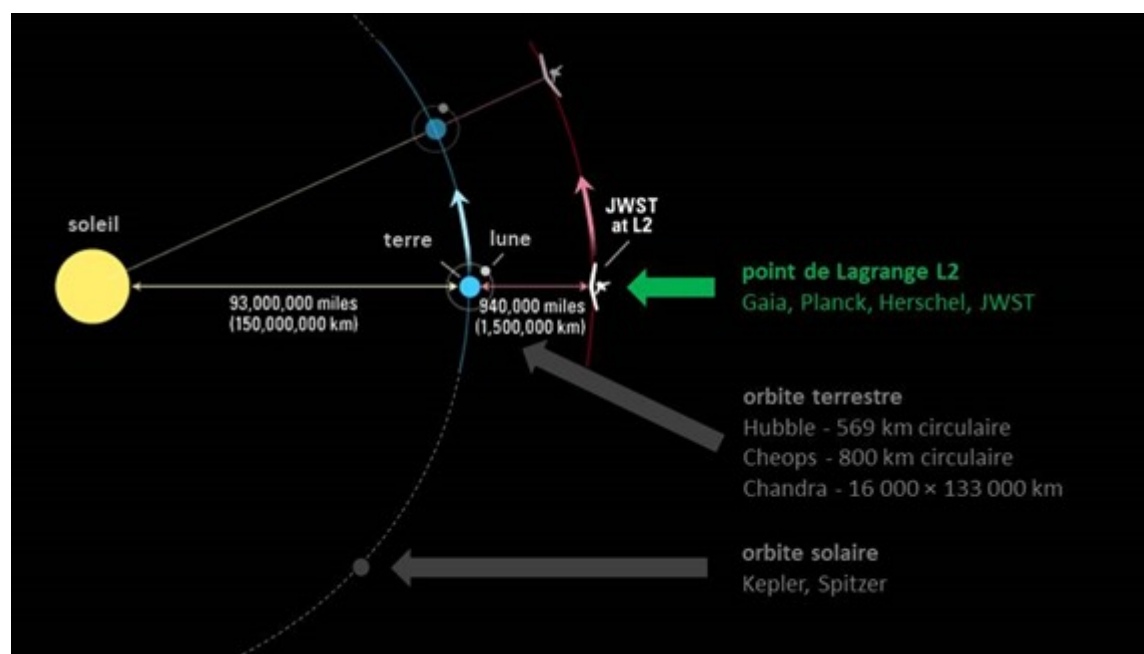
Leur orbite

Les télescopes spatiaux sont placés sur des orbites qui sont habituellement de quatre types que l'on choisit en fonction de contraintes diverses comme le coût du lancement, l'objectif de rentabilité du télescope et les objectifs d'observation :

- En **orbite basse** autour de la Terre comme Hubble, à environ 500 km d'altitude. L'avantage est que cela n'est pas compliqué d'envoyer le télescope en orbite et que l'on peut éventuellement le réparer comme la navette spatiale américaine l'a fait pour Hubble. L'inconvénient est que les observations de l'espace ne peuvent avoir lieu que la moitié du temps, lorsque le télescope est dans la nuit. Sachant que l'orbite dure environ 96 minutes à cette altitude. A cette altitude, les télécommunications spatiales sont facilitées pour le haut débit, ou tout du moins un haut débit d'ADSL de zone faiblement dense ! Pour prendre un exemple, Hubble doit éviter de regarder dans la direction du Soleil dans un cône de 45° et il doit bien entendu éviter la Terre. Cela donne un temps d'observation compris entre 45 minutes sur les 96 minutes d'une orbite et la totalité des orbites selon la direction observée (tant que la Terre et le Soleil sont évités). Deux régions d'un rayon de 18° sont observables en permanence, ce qui peut servir pour des temps de pose de très longue durée liés à la captation de galaxies très lointaines comme dans les

programmes Hubble Deep Field et Hubble Ultra-Deep Field. Qui plus est, l'anomalie magnétique de l'Atlantique Sud empêche la Terre de protéger le télescope de bombardement de particules, ce qui met hors service une partie des instruments pendant 25 minutes par orbite. A ceci s'ajoutent d'autres contraintes comme la position des panneaux solaires qui doivent être aussi orthogonaux que possible avec le Soleil - heureusement, ils peuvent pivoter sur leur axe de support - et diverses contraintes thermiques.

- En **orbite elliptique** autour de la Terre, ce qui va donner un temps d'exploration bien plus grand, le télescope étant alors rarement dans l'ombre de la Terre. L'envoi des données collectées par le télescope peut être réalisé lors de la périégée de l'orbite elliptique, lorsqu'il est le plus près de la Terre. Le télescope à rayons X Chandra est sur ce type d'orbite avec une périégée élevée à 16 000 km et une apogée à 133 000 km.
- En **orbite autour du Soleil** sur la même orbite que la Terre mais décalée. Cela permet de pouvoir observer tout le temps l'espace, dans la direction opposée au Soleil. Les télescopes Kepler et Spitzer sont sur ce type d'orbite. Elle permet aussi d'éviter les perturbations des instruments générées par l'anomalie magnétique de l'Atlantique Sud qui se manifeste en orbite basse.



- En **orbite sur ou autour du point de Lagrange L2** qui permet au télescope d'être dans l'ombre de la Terre et donc, de ne pas être éclairé par elle, ce qui facilite les observations. Le télescope est cependant éclairé par le Soleil qui a une taille apparente plus grande que celle de la Terre, et qui alimente au passage ses panneaux solaires. Cette orbite particulière permet au télescope de tourner autour du Soleil à la même vitesse angulaire que la Terre. Elle est située à 1,5 millions de km de la Terre sachant que cette dernière est à 150 millions de km du Soleil et que la Lune est à environ 330 000 km de la Terre. Les inconvénients de cette orbite ? Elle est éloignée donc cela peut limiter la vitesse des télécommunications. Le placement du télescope sur cette orbite est compliqué. Enfin, il est alors impossible d'y réparer le télescope, comme cela a pu se faire dans les années 1990 pour Hubble qui était en orbite terrestre accessible par la Navette Spatiale. Les télescopes Gaia, Planck et Herschel sont sur cette orbite et elle accueillera le James Webb Space Telescope en 2018. Comme Herschel, un télescope spatial peut être envoyé sur une orbite de Lissajous autour de ce point de Lagrange.

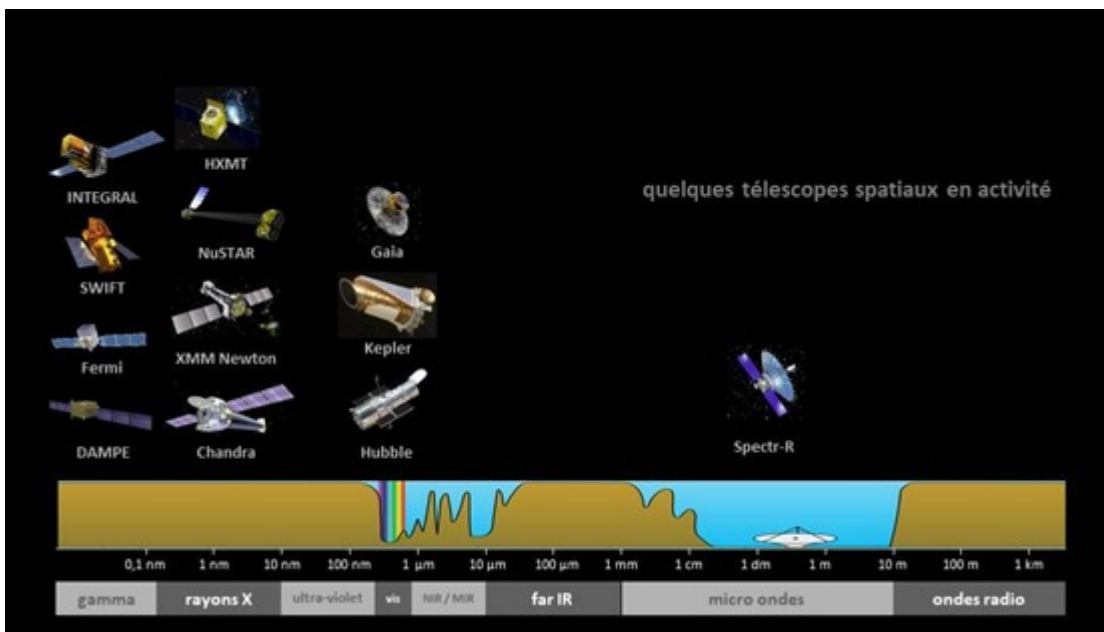
Leur durée de vie

La durée de vie opérationnelle des télescopes spatiaux est couramment située entre trois et dix

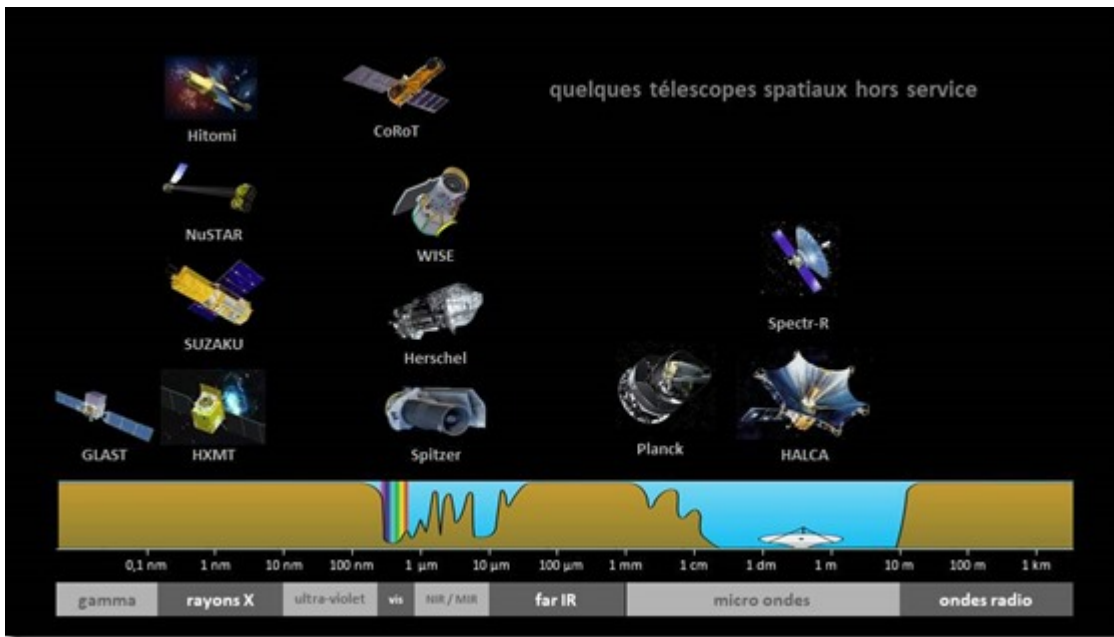
ans alors que celle des grands télescopes terrestres se compte en décennies voir demi-siècles.

Elle dépend du type d'instrument embarqué. Les télescopes infrarouges sont ceux dont la durée de vie est la plus contrainte, par les gaz liquides de cryogénisation des capteurs infrarouge. La limitation de la durée provient aussi des ergols qui servent à ajuster la position du satellite, à le maintenir dans la bonne altitude en orbite, parfois aussi pour changer de position pour scruter l'Univers. Les télescopes infrarouge peuvent fonctionner dans une période étendue et en mode limité, sans la captation dans l'infrarouge moyen.

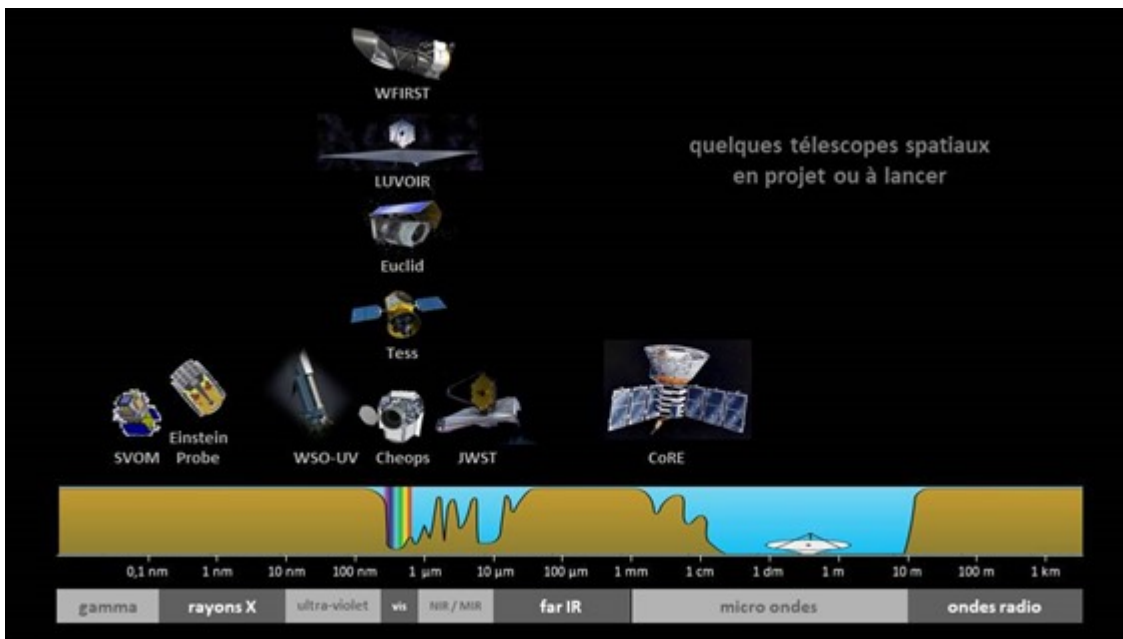
Le record a été obtenu avec Hubble qui a été réparé et modifié plusieurs fois grâce à la navette spatiale. C'est difficile à faire depuis la fin du programme de la Navette Spatiale américaine. Hubble est actuellement proche de sa fin de vie.



Dans la pratique donc, le nombre de télescopes spatiaux en activité est relativement faible (*ci-dessus*). Et les télescopes inactifs sont des plus nombreux, et le schéma n'intègre que les plus récents (*ci-dessous*).



Les sondes spatiales dotées de capteurs photo qui s'éloignent du Soleil ne peuvent alors plus être alimentées par des panneaux solaires photovoltaïques. Lancées en 1977, Voyager 1 et 2 sont ainsi alimentées par des piles au plutonium. Celles-ci s'épuisent progressivement et ces sondes ne pourront plus émettre d'images vers la Terre d'ici une vingtaine d'années.



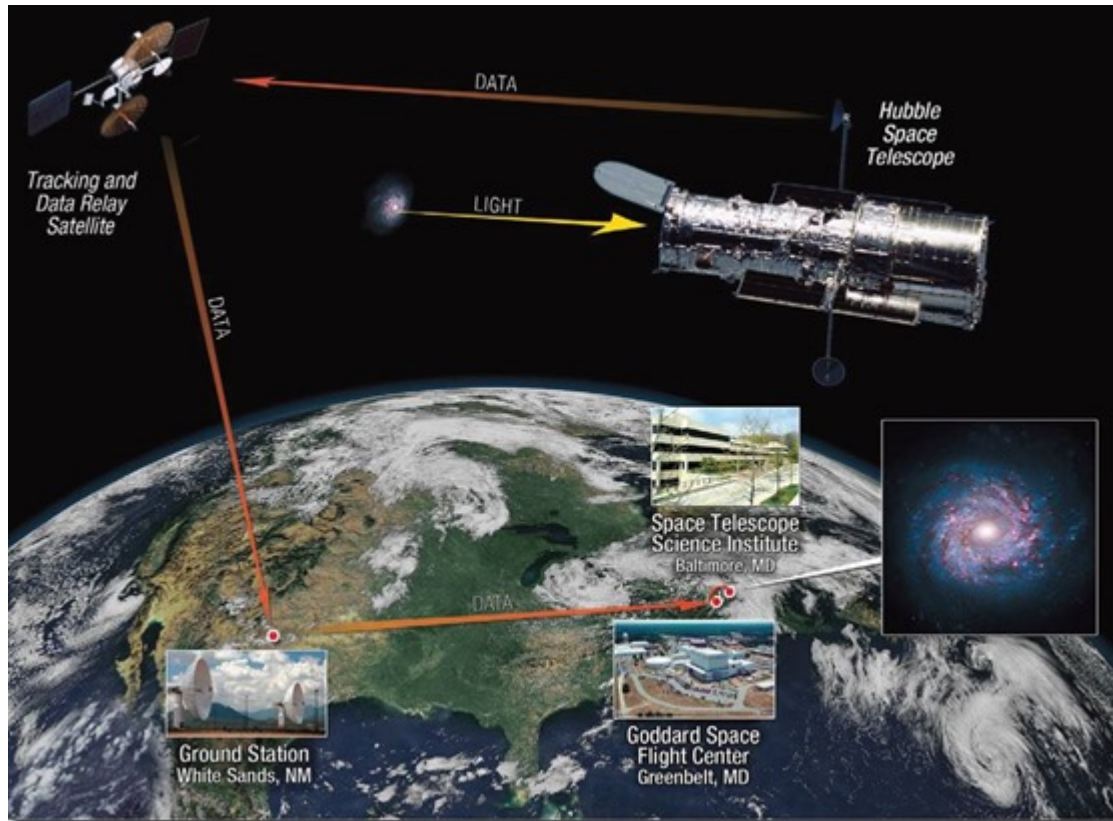
Les télécommunications avec les télescopes spatiaux

Les télescopes spatiaux utilisent des bandes de fréquences différentes selon leur type d'orbite et leur distance à la terre. Plus ils sont proches de la Terre, plus grand sera le débit. Un peu comme votre liaison ADSL et le DSLAM auquel il est connecté chez votre opérateur télécom. Plus il est loin, plus lent est le débit ! Les télécommunications montantes vers les télescopes pour les piloter sont moins exigeantes en débit que les envois de données des télescopes spatiaux à la Terre.

Les bandes de fréquences utilisées sont la bande S (2 GHz), la bande X (7 à 8 GHz) et la bande Ka (32 à 34 GHz), utilisée depuis environ 2004, sachant que plus la fréquence est élevée,

meilleurs sont les débits.

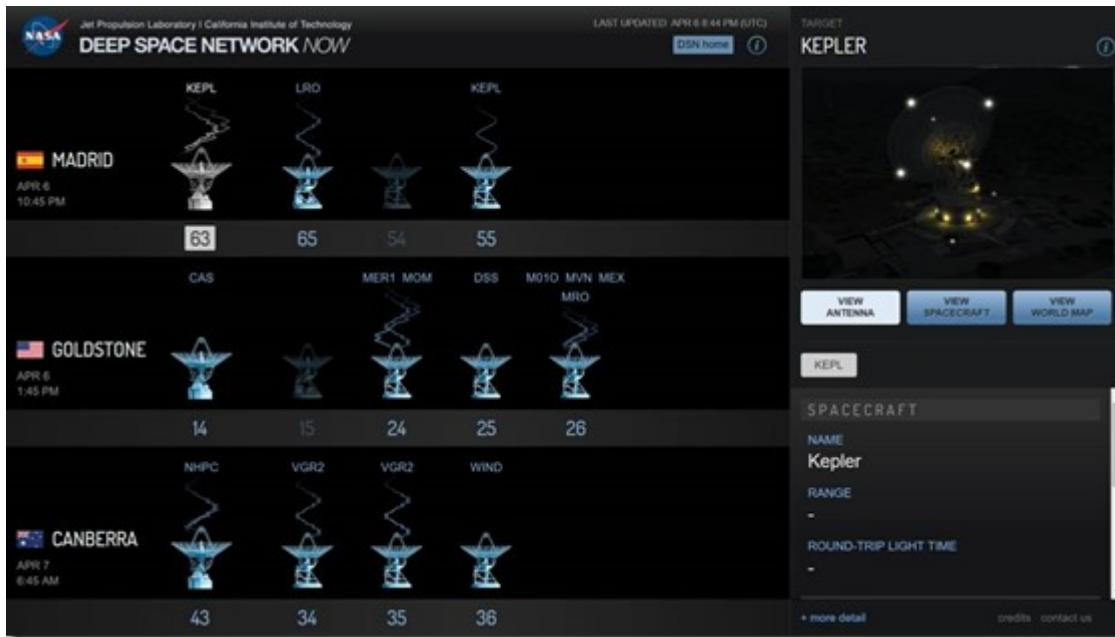
Hubble (ou HST pour Hubble Space Telescope) envoie ses données dans la bande S située à 2,2 GHz, pas loin de celle du Wi-Fi abgn, qui est à 2,4 GHz ! Le débit associé est de 1 Mbits/s ! Il stocke les données avant de les envoyer dans une mémoire de masse à base de semiconducteurs de moins de 2 Go ! Les antennes de Hubble sont orientables et communiquent avec les satellites géostationnaires TDRS de la NASA qui sont tout le temps visibles de Hubble. Ces derniers retransmettent alors les données aux stations terrestres [**source** du schéma ci-dessous].



Kepler utilise une liaison en bande Ka (20 GHz) avec une vitesse maximale de 550 Kbits/s.

JWST s'appuiera aussi sur la bande Ka mais atteindra 8 Mbits/s représentant 30 Go de données par jour.

A noter le **site** du **Deep Space Network** de la NASA qui permet de faire le tour des antennes de réception des signaux des satellites, des télescopes spatiaux et sondes spatiales comme Juno, utilisés par l'agence américaine. Le DSN utilise une dizaine d'antennes paraboliques situées aux USA, en Espagne et en Australie. Des antennes de 70 m de diamètre servent à l'émission de données vers les télescopes et celles de 34 m servent à la réception de leurs données.



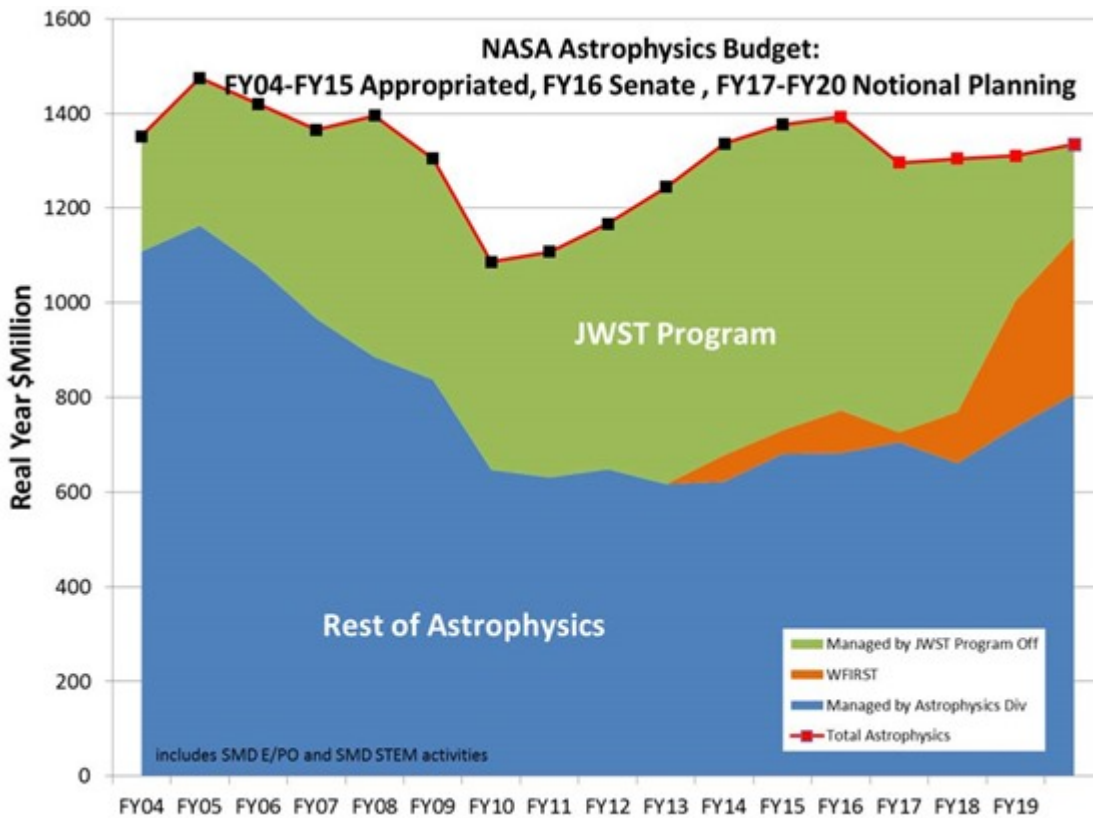
Les données reçues permettent aussi d'ajuster le positionnement précis des satellites. Différentes techniques sont utilisées pour déterminer avec précision la position des télescopes spatiaux : certaines exploitent les signaux radio reçus (pour mesurer la distance, la vitesse via l'effet Doppler, et l'orientation via de l'interférométrie) ainsi que ceux des capteurs embarqués (gyro, suivi d'étoiles repères, suivi du Soleil).

Des liaisons optiques plus rapides pourraient être utilisées et atteindre 10 Mbits/s jusqu'à Saturne et 50 Mbits/s en orbite basse. Elles sont pour l'instant réservées aux télescopes observant la Terre, et pas encore à ceux qui sont tournés vers l'espace.

Des budgets élevés

Les budgets des télescopes spatiaux sont très élastique et peuvent aller de \$100m à \$10B. Le télescope spatial le plus cher sera probablement JWST, dont le budget sans cesse révisé à la hausse est actuellement d'environ \$9B. Cela représente un ordre de grandeur de plus que le budget des télescopes géants vus dans une **partie précédente**. Leur budget est compris entre \$1B et \$1,5B. Comme pour les grands télescopes terrestres, ces budgets peuvent être mutualisés à l'échelle internationale. Une bonne part des satellites européens sont financés par plusieurs pays européens regroupés notamment dans l'ESA.

Le plus gros financeur est sans doute la NASA. Son budget total annuel est d'environ \$19B. Elle consacre \$1326m à l'astronomie en 2017 dont \$569m rien que pour le JWST et elle se prépare à dépenser sans compter pour le WFIRST que nous examinerons dans ces lignes.



De son côté, l'agence spatiale européenne est dotée d'un budget annuel de 5,25 Md€ (2016), la France en étant le second contributeur derrière l'Allemagne (22,6% et 844 M€ vs 23,3% et 872 M€) et le premier contributeur en effectifs (510), le siège étant basé à Paris. La partie de ce budget dédiée à l'astronomie semble être de 9,7% et 508 M€, soit moins de la moitié de l'investissement de la NASA dans le domaine. La plus grosse part du budget est consacrée aux lanceurs (Ariane), pour 20% et à l'observation de la Terre (30,5%).

Les programmes scientifiques de l'astronomie sont concertés pour agencer la complémentarité entre télescopes terrestres et spatiaux, comme dans la planification des **Decadal Surveys** de la NASA. Les télescopes spatiaux servent souvent d'éclaireurs de l'exploration de l'espace. Les objets identifiés sont ensuite analysés par divers instruments complémentaires installés sur les télescopes terrestres. Typiquement, avec les radiotélescopes qui n'ont pas d'équivalents dans les télescopes spatiaux et n'ont pas besoin d'être envoyés dans l'espace car l'atmosphère laisse passer les ondes radio.

Les réservations des créneaux

Comme pour les télescopes terrestres, les astronomes et astrophysiciens doivent faire des demandes en ligne d'observation. Un cinquième environ d'entre elles sont honorées et avec un délai de plusieurs mois. Il faut donc prendre son temps et bien documenter ses demandes ! Pour le 25e cycle d'appels à projets du Hubble Space Telescope, les demandes devaient être formulées entre janvier et avril 2017 et les **résultats** notifiés en 2017, avec quatre laboratoires français retenus. Les demandes d'observations sont gérées par le **Space Telescope Science Institute** (STScI) qui est un organisme privé indépendant de la NASA créé en 1981 et opéré par l'AURA, l'Association des 39 Universités US de recherche en astronomie.

Cycle 25 Approved Programs							
Phase II	First Name	Last Name	Institution	Country	Type	Resources	Title
15328	Jessica	Agarwal	Max Planck Institute for Solar System Research	DEU	GO	5	Orbital period and formation process of the exceptional binary asteroid system 288P
15090	Marcel	Agueros	Columbia University in the City of New York	USA	GO	35	A UV spectroscopic survey of periodic M dwarfs in the Hyades
15091	Marcel	Agueros	Columbia University in the City of New York	USA	SNAP	86	A UV spectroscopic snapshot survey of low-mass stars in the Hyades
15092	Monique	Aller	Georgia Southern University Res. & Svc. Foundation, Inc	USA	GO	6	Testing Dust Models at Moderate Redshift: Is the z=0.437 DLA toward 3C 196 Rich in Carbonaceous Dust?
15193	Alessandra	Aloisi	Space Telescope Science Institute	USA	GO	22	Addressing Ionization and Depletion in the ISM of Nearby Star-Forming Galaxies
15194	Alessandra	Aloisi	Space Telescope Science Institute	USA	GO	18	The Epoch of the First Star Formation in the Closest Metal-Poor Blue Compact Dwarf Galaxy UGC 4483
15299	Julian	Alvarado Gomez	Smithsonian Institution Astrophysical Observatory	USA	GO	13	Weaving the history of the solar wind with magnetic field lines
15093	Jennifer	Andrews	University of Arizona	USA	GO	18	Dwarfs and Giants: Massive Stars in Little Dwarf Galaxies
15222	Iair	Arcavi	University of California - Santa Barbara	USA	GO	1	What Type of Star Made the One-of-a-kind Supernova IPTF14hs?
15223	Matthew	Auger	University of Cambridge	GBR	GO	1	The Brightest Galaxy-Scale Lens
15300	Thomas	Ayres	University of Colorado at Boulder	USA	GO	49	Ecliptic-poles Stellar Survey (Eclip55)
15160	Andrew	Baker	Rutgers the State University of New Jersey	USA	GO	4	High-resolution imaging of four lensed dusty star-forming galaxies
15224	Eduardo	Banados	Carnegie Institution of	USA	GO	25	The host galaxy and environment of a bright QSO at z=7.54

Un processus qui rappelle celui des appels à projets divers des Programmes d'Investissements d'Avenir. A ceci près que les laboratoires de recherche ont un droit de tirage lié au financement de leur pays. L'Europe ayant contribué à 15% au financement de Hubble, cela lui donne un droit de tirage correspondant dans les observations. A noter que pendant les années 1990, 13 demandes d'observation d'astronomes amateurs ont été satisfaites. Mais ce programme a été supprimé faute de budget.

Les entrepreneurs

Vous remarquerez qu'aucun entrepreneur dans le vent ne s'est aventuré dans la production de télescopes spatiaux comme de télescopes terrestres. Ce n'est pas seulement lié au fait qu'ils servent à la recherche fondamentale et qu'ils sont financés par les deniers publics. Les entrepreneurs cherchent les économies d'échelle. Or, il y n'y en a quasiment pas les télescopes spatiaux qui sont tous uniques en leur genre. La seule économie d'échelle se situe dans les lanceurs, un business potentiellement lucratif et qui est notamment bien investi par Space-X, la société d'Elon Musk. Ses fusées Falcon peuvent servir à lancer des télescopes spatiaux mais elles sont majoritairement utilisées pour lancer des satellites commerciaux dans les télécommunications.

Mais entrepreneur n'est pas synonyme de startups. On peut entreprendre dans des entreprises technologiques qui n'ont pas les économies d'échelle des startups. C'est dans ce registre que l'on trouve diverses PME françaises actives dans le secteur spatial. Ce sont des équipementiers et des fournisseurs de composants critiques comme les miroirs (Boostec), les capteurs CCD ou des instruments complets.

Voilà pour les généralités sur les télescopes spatiaux. Dans les épisodes suivants, nous ferons le tour des télescopes spatiaux par spécialité : ceux qui sont **dans le visible (Hubble, Gaia)**, dans **l'infrarouge (WISE, Spitzer, Herschel, JWST, Euclid, WFIRST, SOFIA)**, dans **l'ultraviolet (WSO-UV, LUVOIR)**, dans les rayons X (**Uhuru, Suzaku, NuStar, Hitomi, Chandra, HXMT, Einstein Probe, NICER**), les rayons gamma (**DAMPE, Fermi, SWIFT, SVOM**) puis les ondes radio (**HALCA, Planck, Spectr-R**). Ces panoramas couvriront aussi bien des télescopes en activité, que ceux qui ne sont plus en activité depuis moins d'une décennie, ceux qui doivent être lancés puis certains de ceux qui sont encore en projet.

Cet article a été publié le 25 juillet 2017 et édité en PDF le 13 août 2017.
(cc) Olivier Ezratty - "Opinions Libres" - <http://www.oezratty.net>