

CHANDRA

L'**observatoire de rayons X *Chandra*** (en anglais *Chandra X-ray Observatory*, en abrégé CXO ; anciennement AXAF pour *Advanced X-ray Astrophysics Facility* (« Installation astrophysique avancée en rayons X »)) est un télescope spatial à rayons X développé par la NASA et lancé en 1999 par la navette spatiale Columbia lors de la mission STS-93. Chandra est avec XMM-Newton le plus performant des observatoires rayons X placés dans l'espace. Grâce à son optique de type Wolter associée à une longueur focale de 10 mètres, sa résolution angulaire descend sous la seconde d'arc dans la gamme de rayons X mous (0,1-10 keV) pour laquelle il a été conçu et sa résolution spectrale dépasse 1000 dans la bande 0,08–0,2 keV. Le télescope de 4,8 tonnes dispose de deux instruments situés au point focal : le spectromètre imageur ACIS et la caméra à haute résolution HRC.

Placé sur une orbite haute elliptique de 16 000 × 133 000 km qui permet de longues périodes d'observation continues, Chandra est utilisé pour étudier à travers les rayons X émis différents objets célestes et processus tels que l'évolution conjointe des trous noirs supermassifs et des galaxies, la nature de la matière et de l'énergie noire, la structure interne des étoiles à neutrons, l'évolution des étoiles massives, les protonébuleuses planétaires et l'interaction des exoplanètes avec leur étoile.

Chandra fait partie du programme des Grands observatoires de la NASA lancé à la fin des années 1980 qui comprend trois autres télescopes spatiaux : Hubble (lancé en 1990 et couvrant le spectre de la lumière visible) , Compton (1991 rayons gamma) et Spitzer (2002 infrarouge). Plusieurs projets visant à développer le successeur de l'observatoire ont jusqu'à présent été annulés faute de budget. En 2013, Chandra est toujours opérationnel.

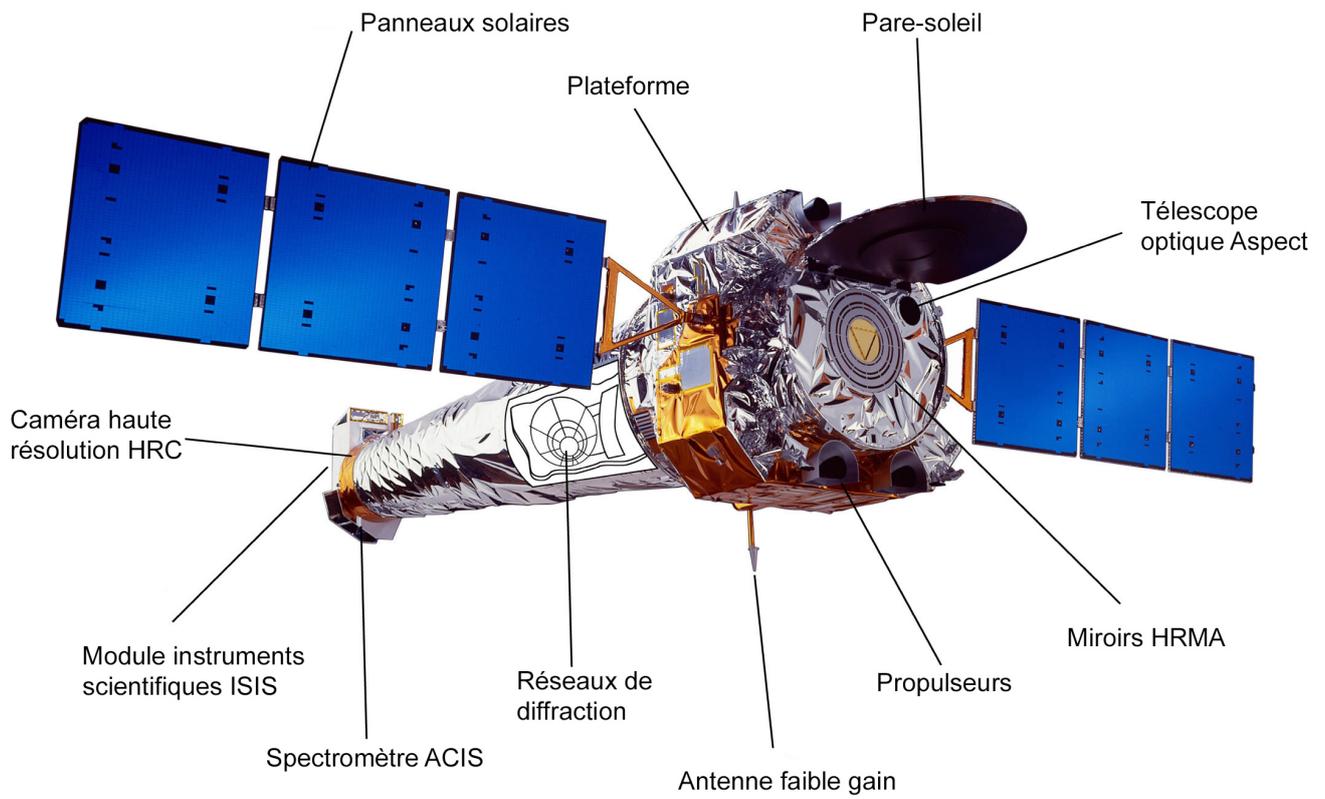
Le développement

En 1976, le projet de télescope à rayons X AXAF (pour *Advanced X-ray Astrophysics Facility*) est proposé à la NASA par Riccardo Giacconi et Harvey Tananbaum. L'année suivante, les développements débutent au Marshall Space Flight Center (MSFC) et au Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO). Entre temps, en 1978, la NASA a lancé et mis en orbite le premier télescope à rayons X Einstein (HEAO-2). En 1992 les caractéristiques du télescope sont largement modifiées pour en réduire le coût : quatre des douze miroirs prévus sont éliminés ainsi que deux des six instruments scientifiques. L'orbite sur laquelle le télescope doit circuler est modifiée : celui-ci doit désormais suivre une orbite fortement elliptique dont le point le plus éloigné se situe à un tiers de la distance Terre-Lune. Ces transformations ne permettent plus les missions de maintenance ou d'entretien par la navette spatiale américaine envisagées initialement. En contrepartie la majeure partie de l'orbite se situe désormais au-delà de la ceinture de Van Allen, zone de radiations intenses qui interdit toute observation.

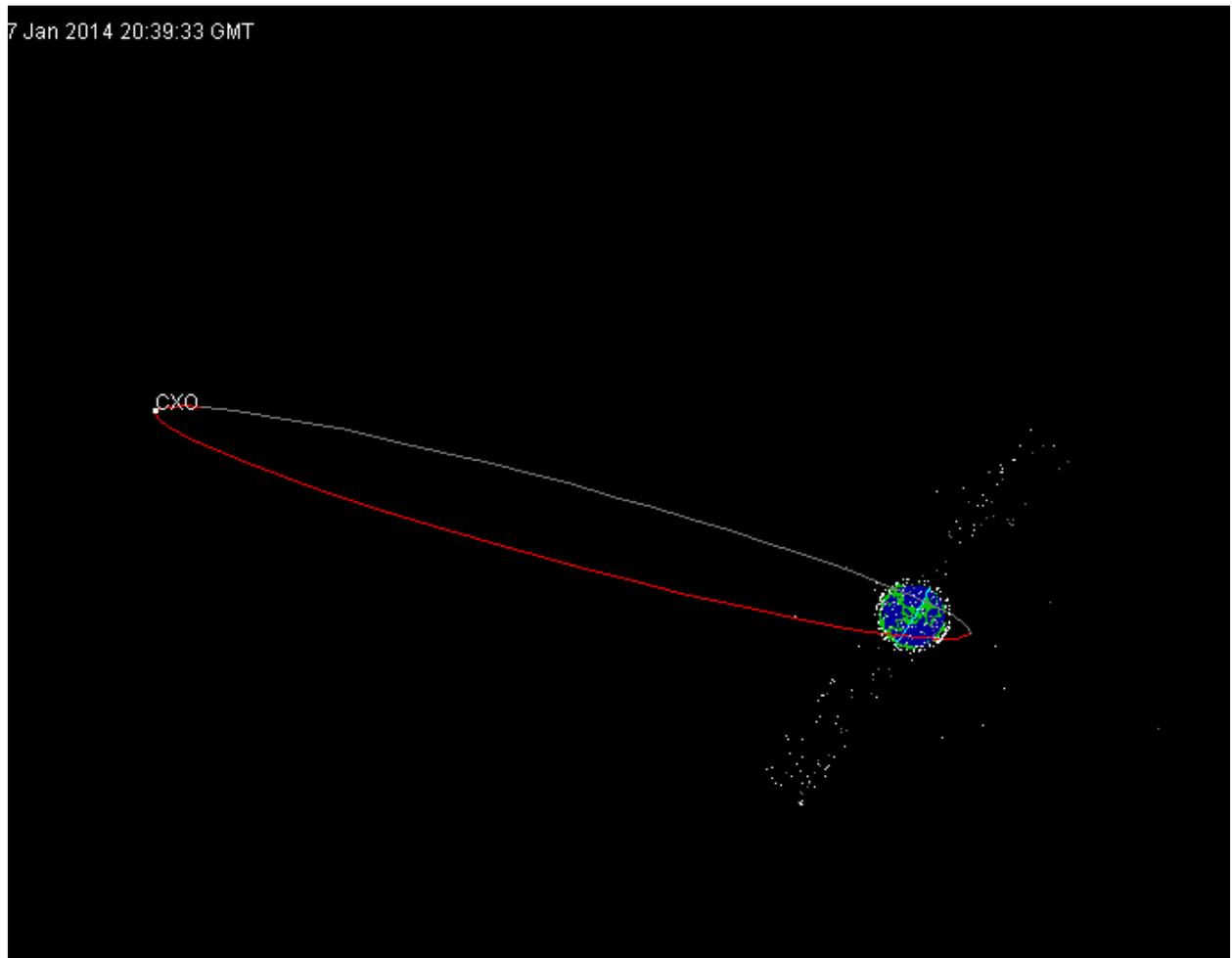
En 1998 AXAF est rebaptisé Chandra à la suite d'un appel à idées lancé par la NASA. Son nouveau nom est destiné à honorer la mémoire du Prix Nobel de physique Subrahmanyan Chandrasekhar qui est le premier à avoir compris au début des années 1930 que les étoiles à neutrons et les pulsars, objets d'étude du télescope, sont créés par l'effondrement d'étoiles en fin de vie. Le terme sanskrit de *Chandra* signifie *lumineux* et désigne la Lune.

Lancement

Chandra est lancé le 23 juillet 1999 par la navette spatiale Columbia dans le cadre de la mission STS-93. Les caractéristiques de la navette spatiale américaine ne lui permettent pas de se placer sur l'orbite haute sur laquelle doit circuler le télescope. Pour contourner cette limitation le télescope est embarqué dans la soute cargo de la navette avec l'Inertial Upper Stage (IUS) constitué de deux étages de fusée. L'ensemble constitue la charge la plus lourde emportée par une navette spatiale depuis son premier vol. Environ 9 heures après que la navette se soit mise en orbite autour de la Terre à une altitude de 320 km, le télescope solidaire de l'IUS est expulsé de la soute sous l'action d'un ressort. Une heure plus tard, une fois que la navette spatiale s'est éloignée à distance de sécurité, le premier étage à propergol solide de l'IUS est mis à feu puis trois minutes plus tard le deuxième étage. Chandra circule désormais sur une orbite de 64 000 × 320 km. Les panneaux solaires sont déployés et le dernier étage IUS est largué. Au cours des neuf jours suivants la propulsion principale du télescope est mis à feu à cinq reprises pour modifier l'orbite qui passe à 16 000 × 133 000 km avec une inclinaison de 28,5° et est désormais parcourue en 64 heures et 18 minutes. Les instruments sont mis en marche pour qu'ils s'adaptent à la température de l'espace et au vide spatial. Deux semaines et demie plus tard l'opercule qui protège le pare-soleil qui était replié de manière à protéger la partie optique est déployé et le rayonnement X d'une première source est focalisée sur les détecteurs des instruments. La vérification et la calibration des instruments prend quelques semaines supplémentaires avant qu'une première image puisse être produite le 19 août 1999 : l'objet céleste observé est Cassiopeia A, le rémanent d'une supernova qui a explosé il y a 320 ans.



Le télescope spatial Chandra (NASA)



L'orbite très elliptique de Chandra



Chandra, en cours d'assemblage

Le télescope

Contrairement à la lumière visible qui peut être réfléchi par du verre ou une surface métallique convenablement préparée sous pratiquement toutes les incidences, les rayons X, plus énergétiques, traversent ces matériaux dans les mêmes conditions. Toutefois un rayonnement X arrivant sous une incidence rasante (inférieure au degré) peut être dévié. Cet angle est d'autant plus faible que l'énergie du rayon X est importante (0,25° pour un rayon de 20 keV mais seulement 0,07° à 70 keV). Pour construire un télescope permettant de focaliser ce rayonnement c'est-à-dire de le dévier vers un point focal, il est nécessaire de développer des optiques complexes capables de réfléchir les rayons. Chandra utilise une optique Wolter de type I baptisée HRMA (*High Resolution Mirror Assembly*). Celle-ci est constituée de plusieurs miroirs imbriqués. Chaque miroir comprend une section parabolique suivi d'une section hyperbolique. Le rayon X est réfléchi une fois sur chacune de ces surfaces avant de converger vers le point focal. HRMA est constituée de quatre paires de miroirs de grande qualité dont la surface est recouverte d'iridium, plus efficace que l'or utilisé sur les premiers télescopes X. Les miroirs de forme cylindrique ont un diamètre respectif 1,23, 0,99, 0,87 et 0,65 m. La longueur est de 84 cm pour la partie optique et de 2,76 mètres hors tout, en incluant les collimateurs antérieur et postérieur. La superficie collectrice effective est de 800 cm² à 0,25 keV et de 100 cm² à 8 keV. La résolution angulaire obtenue est de 0,5 seconde d'arc (2,4 µrad). L'ensemble a une masse de 1 484 kg.

Les instruments scientifiques

Les rayons X réfléchis par les miroirs du HRMA convergent vers un point focal ayant la moitié de l'épaisseur d'un cheveu situé à 10 mètres de la partie optique à l'autre extrémité du télescope. Les détecteurs des deux principaux instruments scientifiques - ACIS et HRC - peuvent être positionnés à cet endroit pour enregistrer les images formées par les photons incidents, compter le nombre de photons, mesurer leur énergie, leur position et leur moment d'arrivée. Ces détecteurs sont montés sur un support mobile qui permet de placer au choix les détecteurs de l'un ou l'autre des instruments au point focal. Ces deux instruments peuvent être utilisés seuls ou en association avec un des deux réseaux de diffraction. L'ACIS et le HRC avec les mécanismes permettant leur déplacement, l'électronique assurant le contrôle des opérations et l'isolation thermique forment le Module des Instruments Scientifiques ou SIM (*Science Instrument Module*).

La caméra à haute résolution HRC

La caméra à haute résolution HRC (*High Resolution Camera*) est un des instruments qui peut être placé au point focal. Il permet de générer une image extrêmement détaillée avec une résolution d'une demi seconde d'arc. L'instrument utilise deux détecteurs de type galette de microcanaux de forme carré et de 10 cm de côté. Chaque galette est composée de 69 millions de tubes en oxydes de plomb long de 1,2 mm avec un diamètre de 12,5 microns et espacés de 15 microns. Lorsque les tubes sont frappés par les rayons X, leur revêtement génère des électrons qui sont accélérés dans le tube soumis à un voltage important. Près de 30 millions d'électrons sortent du tube. Un réseau de fils conducteurs placés en position d'interception détectent le signal électrique généré et déterminent avec une grande précision la position du rayon X. L'instrument HRC est particulièrement adapté à l'imagerie de la matière chaude présente dans les rémanents de supernovae, dans les amas de galaxies ainsi qu'à l'identification des sources de rayons X de faible intensité.

Le spectromètre imageur ACIS

Le spectromètre imageur ACIS (*Advanced CCD Imaging Spectrometer*) est le deuxième instrument installé au foyer du télescope. Il est constitué de 10 CCD qui présentent la caractéristique de pouvoir à la fois restituer une image formée à partir des rayons X qui viennent les frapper mais également de mesurer leur énergie. Les scientifiques peuvent ainsi localiser le rayonnement produit par des ions d'oxygène, de néon ou de fer. C'est un instrument optimisé pour étudier la température des sources de rayons X telles que les grands nuages de gaz chaud situés dans l'espace intergalactique ou la répartition des éléments chimiques dans les nuages générés par les explosions de supernovae.

Les réseaux de diffraction

Chandra dispose de deux équipements qui permettent d'effectuer de la spectroscopie à haute résolution sur le rayonnement X : le HETGS (*High Energy Transmission Grating Spectrometer*) travaille dans la gamme de 0,4 à 10 keV et dispose d'une résolution spectrale de 60-1000. Le LETGS (*Low Energy Transmission Grating Spectrometer*) travaille dans la gamme de 0,09 à 3 keV et une résolution de 40-2000. Chaque spectromètre est activé en plaçant sur le chemin optique des rayons X réfléchis par les miroirs un dispositif constitué de centaines de réseaux de diffraction en or. Ces réseaux réalisent la diffraction des rayons X en fonction de leur énergie de la même manière qu'un prisme sépare la lumière en ses différents composants colorés. Les détecteurs placés au point focal peuvent alors déterminer l'énergie des différents photons incidents avec une précision qui atteint 1 pour mille. Ces mesures fournissent des indications sur la température, le degré d'ionisation et la composition chimique de la source d'émission des rayons X.

Le réseau de diffraction basse énergie LETG

Les réseaux de diffraction LETG permettent d'effectuer la spectrométrie des rayons X à basse énergie (0,08 à 2 keV). Le réseau est constitué de fils ou barrettes en or espacés régulièrement. Il existe deux réseaux un réseau linéaire espacé de 25,4 μm et un réseau grossièrement triangulaire espacé de 2 mm. Les réseaux sont montés sur une structure circulaire toroïdale adaptées à la forme des miroirs de Chandra.

Le réseau de diffraction haute énergie HETG

Les réseaux de diffraction HETG permettent d'effectuer la spectrométrie des rayons X à moyenne et haute énergie. L'espacement est de 0,2 μm ou 2000Å pour le réseau dédié aux photons à haute énergie et de 0,4 μm ou 4000Å pour le réseau dédié aux photons à moyenne énergie.

Résultats

Chandra a profondément transformé notre connaissance de l'univers et a apporté un nombre considérable d'informations nouvelles ou inattendues. Parmi celles-ci on peut compter :

- La première image du rémanent de supernova Cassiopée A, a donné une première impression à propos de l'objet compact qui est en son centre (une étoile à neutrons ou un trou noir).
- Dans la nébuleuse du Crabe, autre rémanent de supernova, Chandra a montré un anneau inconnu autour du pulsar central et des jets qui n'étaient que devinés sur les images antérieures.
- La première émission X observée provient du trou noir supermassif du centre de notre galaxie (la Voie lactée) : Sagittarius A*.
- Chandra a observé du gaz beaucoup plus froid que prévu orbitant en spirale vers le centre de la galaxie d'Andromède.
- Pour la première fois, Chandra a détaillé des fronts de pression dans Abell 2142, où des groupes de galaxies sont en train de se fondre.
- Les premières images des ondes de choc d'une supernova ont été prises dans SN 1987A.
- Chandra a présenté pour la première fois des images de l'absorption d'une petite galaxie cannibalisée par une plus grande (dans une image de Perseus A).
- Dans la galaxie M82, un nouveau type de trou noir a été observé à mi-chemin en taille entre les trous noirs stellaires et les trous noirs supermassifs.
- Pour la première fois, Chandra a permis d'associer une émission X à un sursaut gamma, GRB 991216.
- Des lycéens, en exploitant des données de Chandra, ont découvert une étoile à neutrons dans les restes de la supernova IC 443.
- Les observations communes de Chandra et BeppoSAX suggèrent que les sursauts gamma se trouvent dans les régions d'intense formation d'étoiles.
- Les données de Chandra suggèrent que les objets RXJ1856 et 3C 58, que l'on croyait précédemment être des pulsars, seraient plutôt des objets beaucoup plus denses, des étoiles étranges. Ces résultats ne font toutefois pas encore l'objet d'un consensus clair.
- La naine brune TWA 5B a été observée en orbite autour d'une étoile similaire au soleil (dans un système binaire).
- Chandra a repéré les ondes sonores provenant de la violente activité autour d'un trou noir supermassif dans l'amas de Persée.
- Chandra a observé l'ombre portée en rayons X de Titan passant devant la nébuleuse du Crabe.
- Le 15 novembre 2010, par une conférence de presse tenue en direct, la Nasa a annoncé la découverte, grâce à Chandra, du plus jeune trou noir de notre voisinage "proche". Cet événement constituerait la première occasion d'établir la date de naissance d'un trou noir.