



Le télescope spatial *James Webb*, un observatoire origami

Robert Irion

Orbite lointaine, températures glaciales, optique active et déploiement dans l'espace... D'immenses défis techniques attendent le télescope spatial *James Webb*, qui succédera à *Hubble* en 2014.

L'ESSENTIEL

✓ Le successeur du télescope spatial *Hubble*, le télescope *James Webb*, est d'un type entièrement nouveau.

✓ Avec un miroir de 6,5 mètres composé d'une mosaïque d'éléments ajustables, il collectera six fois plus de lumière que *Hubble*.

✓ Dans l'infrarouge, il observera les premières étoiles et galaxies de l'Univers, ainsi que les étoiles naissantes au sein de leur cocon de poussière.

✓ Repliés pour le lancement, son miroir et son bouclier thermique se déploieront dans l'espace, un défi technique sans précédent.

Le miroir, un hexagone parfait de couleur gris acier, est placé verticalement sur une plate-forme basse. Cette dalle de béryllium d'un peu plus de 1,20 mètre de diamètre, sculptée avec précision, luit dans la pénombre du laboratoire d'optique. Malgré ses cinq centimètres d'épaisseur, elle est étonnamment légère : elle est creuse. Les ingénieurs ont évidé son envers, ne laissant qu'un entrelacs de fines nervures. La face de béryllium poli restante ne mesure que 2,5 millimètres d'épaisseur. Il ne reste ainsi que 21 kilogrammes des 250 de départ. C'est suffisamment léger pour qu'une fusée *Ariane 5* puisse envoyer 18 éléments de miroir dans l'espace, où ils seront assemblés pour n'en former qu'un, au cœur du plus audacieux observatoire spatial jamais mis en orbite.

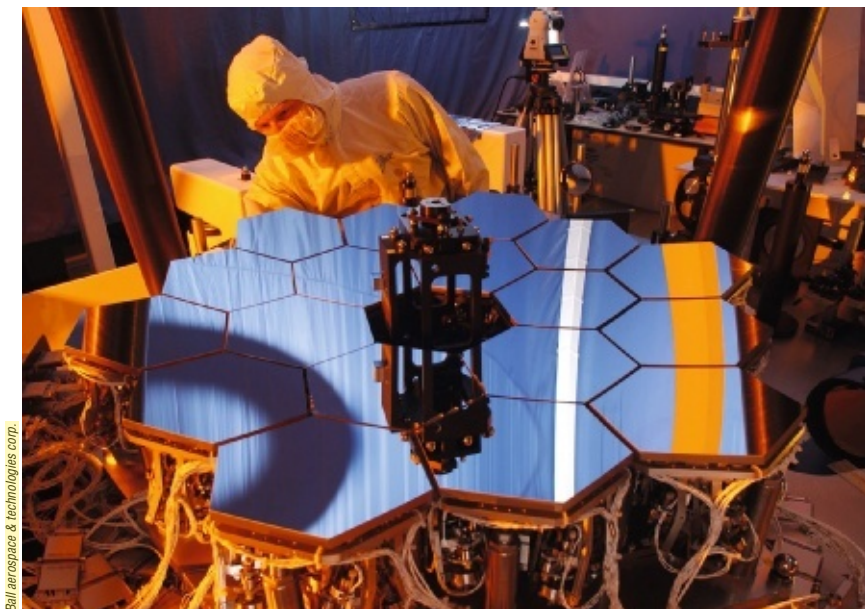
Le *James Webb Space Telescope* (ou JWST), développé par la NASA en partenariat avec les agences spatiales européenne et canadienne, est prévu pour succéder en 2014 au télescope spatial *Hubble*. Ce dernier, en orbite à 570 kilomètres au-dessus de la Terre depuis 1990, livre aux astronomes les vues les plus nettes de l'Univers lointain et de la naissance ou de la mort d'étoiles plus proches. Comme *Hubble*, le télescope spatial *James Webb* promet des ima-

ges saisissantes, mais avec une vue beaucoup plus lointaine. Les astronomes l'ont conçu pour scruter les débuts de l'Univers. Il pourrait repérer l'explosion des premières étoiles formées après le Big Bang, et révéler l'origine des galaxies semblables à la Voie lactée. Il regardera aussi au plus profond des nuages de poussière et de gaz, cocons où se déroule la gestation des étoiles et de leurs planètes.

Pour atteindre ces objectifs, le télescope *James Webb*, ainsi nommé en l'honneur de l'administrateur de la NASA durant l'ère *Apollo*, diffèrera radicalement de son prédécesseur. Son miroir léger aura une envergure de plus de 6,5 mètres, ce qui lui conférera une surface collectrice de lumière six fois supérieure au miroir de *Hubble*. Recouverts d'or, les 18 panneaux hexagonaux indépendants du miroir s'aligneront avec une précision d'un dix-millième de l'épaisseur d'un cheveu pour se comporter comme une surface uniforme.

La NASA mettra cet observatoire sur une orbite située bien au-delà de la Lune. En chemin, un bouclier thermique géant s'ouvrira, dont l'ombre maintiendra les instruments à une température inférieure à 55 kelvins (-218°C), afin de détecter le rayonnement infrarouge émis par les objets lointains il y a plus de 13 milliards d'années.

1. DES ÉLÉMENTS DU MIROIR du télescope spatial *James Webb* sont montés pour être testés dans une chambre ultrafroide (en haut à gauche). Chaque segment, large de 1,20 mètre, est constitué de béryllium, un matériau difficile à polir (en bas).



Ball Aerospace & Technologies Corp.

2. LE MIROIR PRIMAIRE d'une version à l'échelle 1/6 du télescope *James Webb* sur un banc d'essai. En forme de nid d'abeilles, il est constitué de 18 éléments hexagonaux en béryllium. Les instruments occupent l'hexagone central.

Ces objectifs impliquent une prise de risques sans précédent. En premier lieu, contrairement à *Hubble*, qui a eu droit à plusieurs réparations et améliorations au cours de ses deux décennies d'exploitation, le télescope *James Webb* une fois en service sera trop loin pour que des astronautes puissent le réparer. Il n'y aura pas de deuxième chance. De plus, l'engin devra être replié pour tenir dans le module porteur d'un lanceur *Ariane 5*, qui impose des limites strictes au poids et aux dimensions du télescope. Placé sur son orbite, l'observatoire devra alors se déployer comme un papillon sortant de sa chrysalide, avec une précision chorégraphique. C'est pourquoi on qualifie parfois ce projet de « télescope origami », en référence à l'art japonais du pliage de papier.

Le coût du projet, environ 3,5 milliards d'euros, a très largement dépassé le budget initial. Les défis techniques se sont révélés plus importants que prévu. Cet investissement n'est cependant pas très éloigné de ceux d'autres satellites pionniers. Le télescope à rayons X *Chandra*, en orbite depuis 1999, et la sonde *Cassini*, qui explore actuellement Saturne et ses lunes, ont par exemple coûté chacun environ 2,8 milliards d'euros.

Certains chercheurs pensent néanmoins que le télescope *James Webb* draine une part disproportionnée du budget de la NASA pour l'astronomie, au détriment d'autres missions. Les projets destinés à

étudier les ondes gravitationnelles, l'Univers aux hautes énergies, et les planètes telluriques autour d'autres étoiles devront maintenant attendre 2020, voire davantage. Et même les partisans du télescope *James Webb* ont des doutes : la mission se déroulera-t-elle comme prévu ?

L'essentiel du déploiement du télescope se fera bien avant qu'il n'atteigne sa destination finale, le point de Lagrange L_2 , un point d'équilibre gravitationnel situé à 1,5 million de kilomètres dans la direction opposée au Soleil, où le vaisseau suivra le rythme de la Terre sur son orbite. De petites poussées des moteurs seront nécessaires pour maintenir l'observatoire en orbite autour du point de Lagrange. Ses réserves de combustible sont prévues pour une dizaine d'années.

Pourquoi placer le télescope aussi loin ? Pour éviter que, comme l'Observatoire *Hubble*, il ne baigne dans la lueur infrarouge thermique de la Terre, et soit donc aveugle à la faible lumière infrarouge des objets lointains. La lumière émise dans le domaine visible du spectre lumineux par les objets des premiers âges de l'Univers a en effet été décalée vers l'infrarouge par l'expansion cosmique durant les milliards d'années qu'elle a mis pour nous parvenir.

Une fenêtre sur l'Univers lointain

Le télescope spatial *James Webb* utilisera ainsi des capteurs infrarouges pour repérer l'éclat des premières galaxies qui se sont assemblées. Ces embryons galactiques existaient probablement 400 millions d'années environ après le Big Bang, soit à peine trois pour cent de l'âge actuel de l'Univers. L'observatoire spatial pourrait même détecter des lueurs encore plus anciennes, celles des premières étoiles, des monstres 100 fois plus massifs que notre Soleil. Ces étoiles dites de population III ont dû exploser en supernovae après une brève existence, crachant des flots de lumière qui se propagent encore.

Le télescope est ainsi conçu pour voir très loin dans le passé. Mais l'infrarouge ouvre également une fenêtre sur des objets plus proches, en permettant de voir à travers les voiles de poussière qui cachent les pouponnières d'étoiles et de planètes dans notre Galaxie. À l'heure actuelle, les planètes extrasolaires sont essentiellement détectées dans le domaine visible, si bien qu'on voit seulement les objets ayant « net-

toyé» le disque de gaz et de poussière qui les ont créés. Mais puisque le rayonnement infrarouge traverse la poussière, le télescope *James Webb* dévoilera les étapes précoces de ce processus de formation planétaire. Il nous aidera ainsi à déterminer si le Système solaire est rare ou banal. Il pourra aussi déterminer la composition de l'atmosphère des planètes en transit (qui passent devant le disque apparent de leur étoile). Et qui sait s'il ne trouvera pas un mélange d'oxygène, de dioxyde de carbone et de méthane ? Ce serait le premier signe de vie extraterrestre...

Les avantages du béryllium

Comme d'autres télescopes spatiaux, le miroir du télescope *James Webb* sera en béryllium, le deuxième métal le plus léger. Avec ses 6,50 mètres de diamètre, ce miroir principal n'est pas immense comparé à ceux des télescopes au sol actuels, qui atteignent 10 mètres, et bientôt 30 ! Mais la création de 18 panneaux de béryllium destinés à être assemblés de façon automatique dans l'espace est un défi technique inédit.

Il a été relevé par les ingénieurs de l'entreprise d'optique *Tinsley*, en Californie. Au début du projet, les astronomes pensaient qu'ils utiliseraient du verre ULE (à coefficient de dilatation ultrafaible), qui conserve sa forme quand la température varie. Mais quand les ingénieurs ont plongé des miroirs tests dans un froid proche de celui auquel sera soumis le télescope, le verre s'est contracté d'une façon qui aurait détérioré l'instrument. Le béryllium, en revanche, reste rigide dans les mêmes conditions.

Ce changement de matériau a cependant retardé d'un an la construction du miroir, car le béryllium est plus long à polir. Il est très difficile de réaliser un miroir en béryllium dépourvu de contraintes de cisaillement. Sculpter la surface a tendance à courber le métal vers le haut. Il faut alors éliminer cette couche en tension en attaquant doucement le miroir à l'acide ou en le raclant avec un outil bien affûté. C'est un processus fastidieux.

Huit machines, hautes de deux étages chacune, sont destinées au polissage des éléments du miroir. Chacune traite un élément à la fois. La durée du polissage par une tête rotative de la taille d'une grande assiette, sur chaque zone précise, est contrôlée par ordinateur. Le miroir est poli jusqu'à cinq millimètres du bord, prouesse qui

n'avait encore jamais été tentée sur des surfaces aussi grandes. Avec une marge deux fois plus large, le télescope focaliserait 1,5 pour cent de lumière en moins, une grosse perte d'information pour les objets les moins brillants.

La précision du polissage est ensuite mesurée au laboratoire de métrologie de *Tinsley*, un lieu fermé où la température est strictement contrôlée. Des lasers infrarouges et d'autres outils évaluent la hauteur de la surface du miroir en des centaines de milliers de points. Un panneau peut faire quelques dizaines d'allers et retours entre le polissage et le laboratoire de métrologie pour atteindre la forme et la finition requises par la NASA.

Chaque élément de miroir est ensuite acheminé par avion jusque chez *Ball Aerospace*, où les ingénieurs le fixent à une structure en composite de graphite qui le maintient en place dans le télescope. Il est ensuite envoyé au Centre Marshall de vol spatial de la NASA à Huntsville, dans l'Alabama, pour des essais dans une grande

L'AUTEUR



Robert IRION, ancien correspondant de la revue *Science*, dirige le programme de communication des sciences à l'Université de Californie à Santa Cruz.



3. L'OSSATURE DU MIROIR PRIMAIRE, fabriquée avec des composites de graphite, du titane et un alliage de nickel et d'acier, est conçue pour ne pas se courber de plus de 32 nanomètres.