



DU CŒUR DE L'ÉTAT

Le Gouvernorat se raconte

Année 3 Cité du Vatican Numéro 1

TRIMESTRIEL JANVIER-MARS 2026

Publication du Gouvernorat de l'État de la Cité du Vatican

Communication institutionnelle

00120 Cité du Vatican

(État de la Cité du Vatican)

Email: comunicazione@scv.va

Sitio internet: www.vaticanstate.va

X (Twitter): [Governatorato_SCV](#)

Instagram: [Governatorato_SCV](#)

Responsable éditorial: Nicola Gori

Graphisme et mise en page: Antonio Coretti

Éditeur: Gouvernorat de l'État de la Cité du Vatican



DU CŒUR DE L'ÉTAT

Le Gouvernorat se raconte

LA SPECOLA VATICANA : LE DIALOGUE
ENTRE SCIENCE ET FOI

NICOLA GORI

PAG. 4

PAS SEULEMENT LA SCIENCE, MAIS AUSSI
LA CULTURE ET L'ÉDUCATION

SŒUR RAFFAELLA PETRNI

PAG. 5

UN OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE EN
TRANSFORMATION

P. RICHARD D'SOUZA, SJ

PAG. 6

AUX ORIGINES DE L'UNIVERS :
LA SPECOLA VATICANA À LA FRONTIÈRE DE
LA PHYSIQUE

P. GABRIELE GIONTI, SJ

PAG. 8

LE VATT : TRENTE ANS D'EXCELLENCE DE
L'ASTRONOMIE VATICANE

P. CHRIS CORBALLY, SJ

PAG. 10

LA COLLECTION DE MÉTÉORITES DU
VATICAN

FR. BOB MACKE, SJ

PAG. 12

LE DIALOGUE ENTRE LA SCIENCE ET LA FOI :
HÉRITAGE ET NOUVEAUX DÉFIS

P. JOSÉ GABRIEL FUNES, SJ

PAG. 14

FAIRE DE LA MÉTÉOROLOGIE À LA
SPECOLA VATICANA

P. BAYU RISANTO, SJ

PAG. 16

LA SPECOLA VATICANA, UN MOIS AVEC
LES JEUNES ASTRONOMES DE DEMAIN

P. DAVID BROWN, SJ

PAG. 18

DISCOURS DU SAINT-PÈRE LÉON XIV
AUX PARTICIPANTS À L'ÉCOLE D'ÉTÉ
D'ASTROPHYSIQUE ORGANISÉE PAR LA
SPECOLA VATICANA

SAINT-PÈRE LÉON XIV

PAG. 20

L'ACCUEIL À LA SPECOLA VATICANA

P. JACEK OLCZYK, SJ

PAG. 21

EXOPLANÈTES : SOMMES-NOUS SEULS
DANS L'UNIVERS ?

P. RICHARD D'SOUZA, SJ

PAG. 23

SOMMAIRE

LA SPECOLA VATICANA : LE DIALOGUE ENTRE SCIENCE ET FOI

Consacrer un numéro de la newsletter à la Specola Vaticana est une manière d'inviter à découvrir une réalité souvent méconnue. Il s'agit d'une institution scientifique liée au Gouvernorat qui met ses moyens scientifiques au service du Pape. Ses origines remontent à 1578, lorsque le Pape Grégoire XIII fit ériger la Tour des Vents au Vatican et invita les jésuites astronomes et mathématiciens du Collège Romain à préparer la réforme du calendrier, promulguée ensuite en 1582.

Il s'agit, sans aucun doute, de l'un des observatoires astronomiques les plus anciens au monde. Fondée officiellement en 1891 par Léon XIII, la Specola Vaticana témoigne de la volonté des Souverains Pontifes de promouvoir la recherche scientifique et le dialogue entre la science et la foi.

En effet, au fil des siècles, le désir de créer une institution scientifique pour observer le ciel et approfondir la connaissance de l'Univers a conduit à l'installation de divers instruments scientifiques dans les palais du Vatican.

En raison de l'extension de l'urbanisation de Rome et de l'augmentation de l'éclairage urbain, la Specola Vaticana fut transférée dans les Villas pontificales de Castel Gandolfo en 1935, où les conditions étaient meilleures pour l'observation du ciel. Avec la croissance de la pollution lumineuse, la nécessité de disposer d'un site encore plus adapté se fit sentir et, en 1981, un second centre de recherche fut ouvert, le Vatican Observatory Research Group (VORG), à Tucson en Arizona (États-Unis d'Amérique). En

1993, en collaboration avec l'Observatoire Steward, la construction du Télescope Vatican à technologie avancée (VATT) installé sur le mont Graham (Arizona), le meilleur site astronomique du continent nord-américain, fut achevée.

La Specola Vaticana est confiée à la Compagnie de Jésus, qui met à disposition des astronomes venus de différents pays du monde. Ils se consacrent à la recherche et à l'étude des galaxies et des étoiles, mais aussi à la cosmologie et à la composition des météorites. Au-delà de la recherche scientifique, la Specola joue également un rôle important sur le plan éducatif et culturel, en organisant des conférences, des écoles d'été et des programmes de collaboration avec des universités et des centres de recherche internationaux.

C'est pourquoi la Specola Vaticana n'est pas un simple observatoire, mais un pont entre deux dimensions : la recherche scientifique et la réflexion spirituelle. Pour les astronomes de l'Observatoire, en effet, il ne s'agit pas seulement d'étudier l'Univers d'un point de vue scientifique, mais aussi de s'interroger sur le rôle de l'humanité dans le cosmos.

En ce sens, la Specola Vaticana représente une tradition séculaire : celle d'une Église qui, tout en préservant la foi, porte un regard respectueux sur les découvertes de la science.

Nicola Gori
La Rédaction

PAS SEULEMENT LA SCIENCE, MAIS AUSSI LA CULTURE ET L'ÉDUCATION

Le rôle de la Specola Vaticana dans le paysage scientifique et culturel contemporain va bien au-delà de la simple observation astronomique. Elle constitue un lieu de rencontre entre science et foi. À une époque où les découvertes et le progrès scientifique se succèdent à un rythme toujours plus rapide, la présence de la Specola Vaticana témoigne de la volonté de l'Église de participer au dialogue avec le savoir moderne.

Par ailleurs, la recherche astronomique a toujours été, par sa nature même, liée aux questions que l'humanité se pose depuis toujours : l'origine de l'Univers, sa structure, le destin des étoiles et des galaxies. Face à l'immensité de la voûte céleste, la réflexion scientifique, d'une part, et la réflexion philosophique ou théologique, d'autre part, ne s'excluent pas mutuellement, mais peuvent se compléter réciproquement.

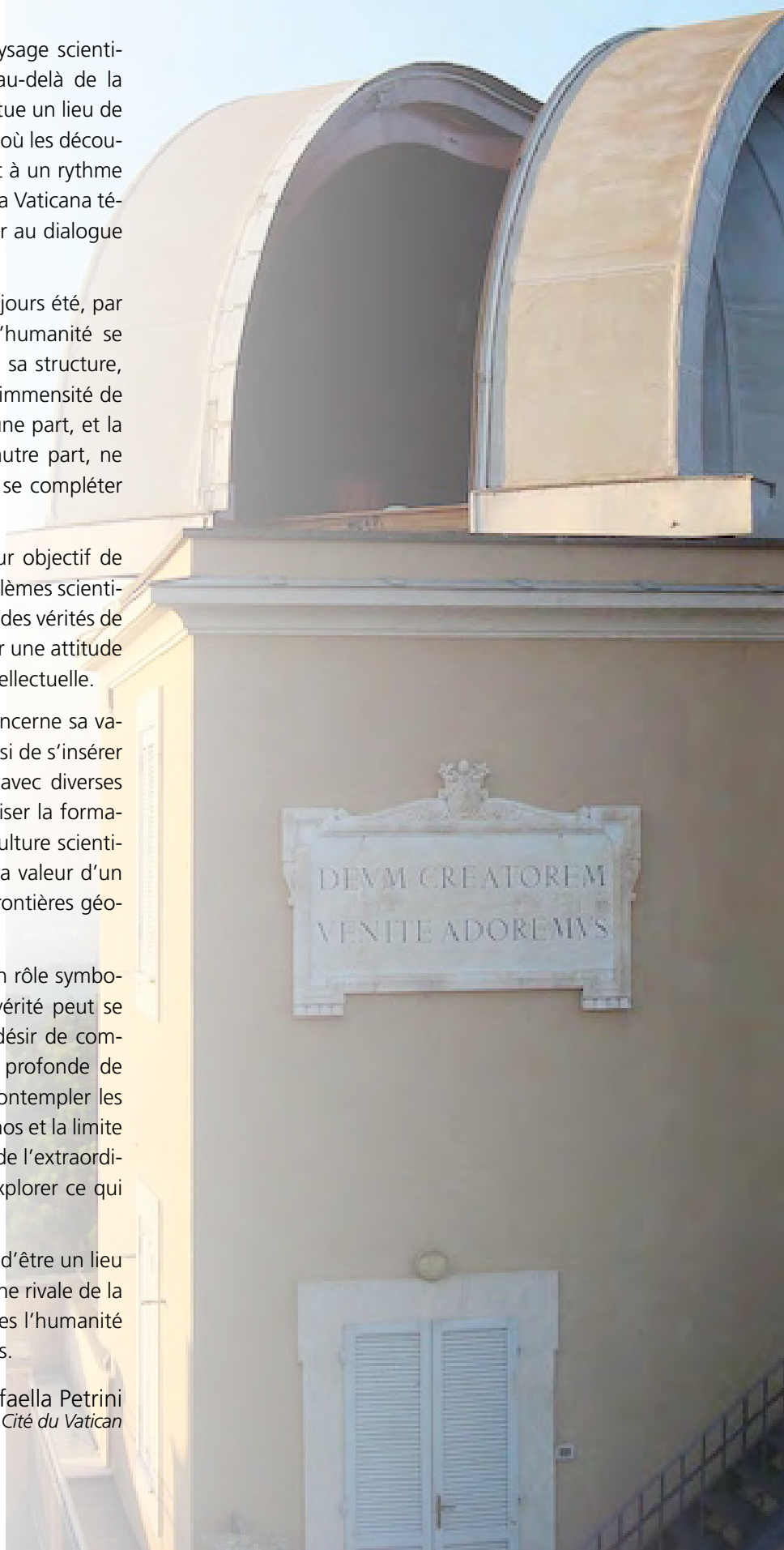
En ce sens, la Specola Vaticana n'a pas pour objectif de fournir des réponses théologiques à des problèmes scientifiques, ni d'utiliser la science pour démontrer des vérités de foi. Son objectif est avant tout de promouvoir une attitude d'ouverture, de recherche et d'objectivité intellectuelle.

Un autre aspect fondamental de son rôle concerne sa valeur culturelle et éducative. La Specola a choisi de s'insérer dans le réseau académique en collaborant avec diverses universités à travers le monde, afin de favoriser la formation de jeunes chercheurs et de diffuser la culture scientifique. Dans ce contexte, l'astronomie revêt la valeur d'un langage universel, capable de dépasser les frontières géographiques, religieuses et culturelles.

Enfin, la Specola Vaticana joue également un rôle symbolique. Elle rappelle que la recherche de la vérité peut se réaliser à travers diverses formes et que le désir de comprendre l'Univers fait partie de la vocation profonde de l'être humain. Il faut donc considérer que contempler les étoiles, c'est reconnaître l'immensité du cosmos et la limite de nos connaissances, mais aussi témoigner de l'extraordinaire capacité de l'intelligence humaine à explorer ce qui est infini.

C'est pourquoi la Specola Vaticana continue d'être un lieu où l'on ne considère pas la science comme une rivale de la foi, mais comme l'une des voies par lesquelles l'humanité cherche à comprendre le mystère de l'Univers.

Soeur Raffaella Petrini
Présidente du Gouvernorat de l'État de la Cité du Vatican



UN OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE EN TRANSFORMATION



P. Richard D'Souza, SJ
Directeur de la Specola Vaticana

L'activité astronomique du Saint-Siège ne représente pas une exception historique, mais le sommet d'une tradition pluriséculaire qui puise ses racines dans la réforme grégorienne du calendrier. Lorsque le Pape Léon XIII refonda la Specola Vaticana en 1891 avec le motu proprio « *Ut mysticam* », son objectif principal était de s'assurer « *que tous comprennent clairement que l'Église et ses pasteurs ne s'opposent pas à la science vraie et solide, qu'elle soit humaine ou divine, mais qu'ils l'embrassent, l'encouragent et la promeuvent avec tous les efforts possibles* ». Depuis le perfectionnement du calendrier ecclésiastique pour préserver l'unité de l'Église, la mission de la Specola s'est aujourd'hui transformée : montrer au monde que science et foi avancent ensemble — en faisant de la bonne science.

Le parcours de la Specola Vaticana a été marqué par la nécessité de préserver l'intégrité des observations scientifiques. Initialement installée à l'intérieur des murs du Vatican, elle fut transférée par le Pape Pie XI à Castel Gandolfo pour échapper aux lumières de plus en plus intenses de Rome. En 1935, la nouvelle installation, dotée de deux télescopes placés sur les coupoles et d'un laboratoire spectrochimique moderne au sous-sol, fut inaugurée par Pie XI. D'autres télescopes furent construits dans les années 1940 et 1960 à l'intérieur des Jardins du Vatican, près de la Villa Barberini. Dans les années 1970, il devint évident que la pollution lumineuse de Rome et des Colli Albani rendait les observations au télescope toujours plus difficiles. En 1981, sous la direction de celui qui était alors Directeur, le père George Coyne, la Specola établit un second site à Tucson, en Arizona, et y construisit un télescope, plus précisément sur le Mont Graham. En 2009, la Specola Vaticana s'installa dans l'ancien couvent des Sœurs Basiliennes, à la limite des Jardins du Vatican, près de la place principale d'Albano Laziale. Aujourd'hui, depuis cette nouvelle installation, les astronomes peuvent collecter et traiter non seulement les données provenant du télescope de Tucson, mais aussi celles issues de télescopes situés dans d'autres endroits reculés du monde où se trouve l'obscurité nécessaire.

La structure opérationnelle actuelle de la Specola Vaticana, sous l'administration du Gouvernorat, s'articule en quatre

domaines fondamentaux : A) **Recherche pure** : analyse des données, publications évaluées par des pairs et participation à des symposiums internationaux. B) **Dialogue interdisciplinaire** : promotion du dialogue entre la pensée théologique et les découvertes astrophysiques. C) **Coopération internationale** : soutien à l'astronomie dans les pays en développement grâce à la célèbre école d'été, tous les deux ans, et la bourse McCarthy-Stoeger. D) **Diffusion et formation avancée** : organisation de conférences scientifiques dans les installations de Castel Gandolfo.

La gestion du personnel est confiée à la Compagnie de Jésus depuis 1930, garantissant un équilibre entre rigueur académique et mission pastorale. Le corps des chercheurs, composé de quatorze jésuites — prêtres et frères — répartis entre Castel Gandolfo et Tucson, couvre un spectre très large de compétences. Il est indéniable qu'un observatoire géré par une communauté de prêtres-scientifiques est assez fascinant et c'est précisément cela qui distingue l'Observatoire du Vatican des autres organisations scientifiques.

Il est superflu de rappeler que la recherche scientifique constitue la base et le fondement de tout ce que nous faisons. Elle nous confère l'autorité nécessaire pour dialoguer avec des astronomes et des scientifiques. Sur quoi travaille actuellement la Specola Vaticana ? Depuis les années 1980, les chercheurs de la Specola ont commencé à diversifier leurs domaines de recherche, chacun devenant expert dans un secteur différent, maximisant ainsi la présence des jésuites astronomes dans toutes les branches de l'astronomie. Le père Gabriele Gionti, SJ, et don Matteo Galaverni travaillent sur la physique théorique et étudient les toutes premières phases de l'Univers — les premiers instants après le Big Bang et la manière dont il est possible d'identifier des traces de ce qui s'est produit dans les données d'observation. Don Alessandro Omizzolo étudie les amas de galaxies, en collaboration avec ses collègues de Padoue. Je me consacre moi-même à l'histoire et à l'évolution des galaxies proches, semblables en taille à la Voie lactée. Le père Richard Boyle, SJ, qui a 83 ans, continue d'effectuer des observations avec notre télescope en Ari-

zona ; avec le père Robert Janusz, SJ, il étudie les amas ouverts, c'est-à-dire des ensembles de jeunes étoiles nées ensemble dans notre galaxie, en collaboration avec une équipe de l'Université de Vilnius. De plus, le père Boyle, avec son collaborateur, est un grand découvreur de nouveaux astéroïdes.

Le père Chris Corbally, SJ, est un expert des spectres stellaires et de leur classification, poursuivant l'héritage laissé par le père Angelo Secchi. Le père David Brown, SJ, travaille avec ses collègues de Potsdam à l'étude des spectres stellaires à haute résolution. Le frère Guy Consolmagno, SJ, et le frère Bob Macke, SJ, étudient les propriétés physiques des météorites, des roches provenant de l'espace. Leurs mesures aident à comprendre les processus de formation de notre Système solaire. Le frère Macke a participé à la mission NASA OSIRIS-REx, qui a visité un astéroïde situé à des millions de kilomètres et en a rapporté des échantillons sur Terre, qu'il a contribué à analyser en laboratoire.

Le père Jean-Baptiste Kikwaya, SJ, étudie, quant à lui, les propriétés physiques des météores (ou étoiles filantes) et des astéroïdes en orbite proche de la Terre. Le père Paul Gabor, SJ, est spécialiste de l'histoire de l'astronomie. Enfin, le père Bayu Risanto a récemment lancé à la Specola des activités dans le domaine de la météorologie, ainsi que dans l'étude et la prévision des modèles météorologiques.

Pourquoi est-il important que le Vatican continue de disposer d'un observatoire ? Grâce à l'ampleur des domaines qu'elle couvre, la Specola Vaticana jouit d'une grande réputation internationale, non seulement pour la qualité de sa recherche, mais aussi pour la contribution qu'elle apporte à la communauté astronomique et scientifique. Notre engagement au sein de l'Union astronomique internationale est très apprécié. De plus, malgré sa taille réduite et son budget limité, la Specola continue de générer une excellente visibilité pour le Vatican : les découvertes astronomiques fascinent toujours le grand public et en-

traînent rapidement une couverture médiatique positive. Le fait que le Vatican possède un observatoire de premier plan et maintienne un télescope sur l'un des meilleurs sites d'observation du monde témoigne clairement de l'engagement de l'Église pour les sciences. En dernière analyse, le maintien d'un observatoire d'excellence n'est pas seulement un choix culturel, mais un puissant outil de *soft power*. Il communique l'engagement constant de l'Église dans le progrès de la connaissance humaine, réaffirmant que la recherche des lois qui gouvernent l'Univers est un parcours complémentaire, et jamais antithétique, à la quête du divin.

Aujourd'hui, la Specola Vaticana est en pleine mutation. Après dix ans à sa tête, le frère Guy Consolmagno, SJ, a quitté le poste de Directeur. Il continuera toutefois comme Président de la Vatican Observatory Foundation aux États-Unis, chargée de collecter des fonds pour le maintien de notre télescope en Arizona. Nous formons la prochaine génération d'astronomes jésuites qui travailleront à la Specola, tout en mettant en œuvre des changements stratégiques pour nous adapter aux grands bouleversements de la communauté astronomique, où de plus en plus d'expériences sont menées dans le cadre de vastes collaborations et recherches, et où les données sont mises gratuitement à disposition de la communauté académique.

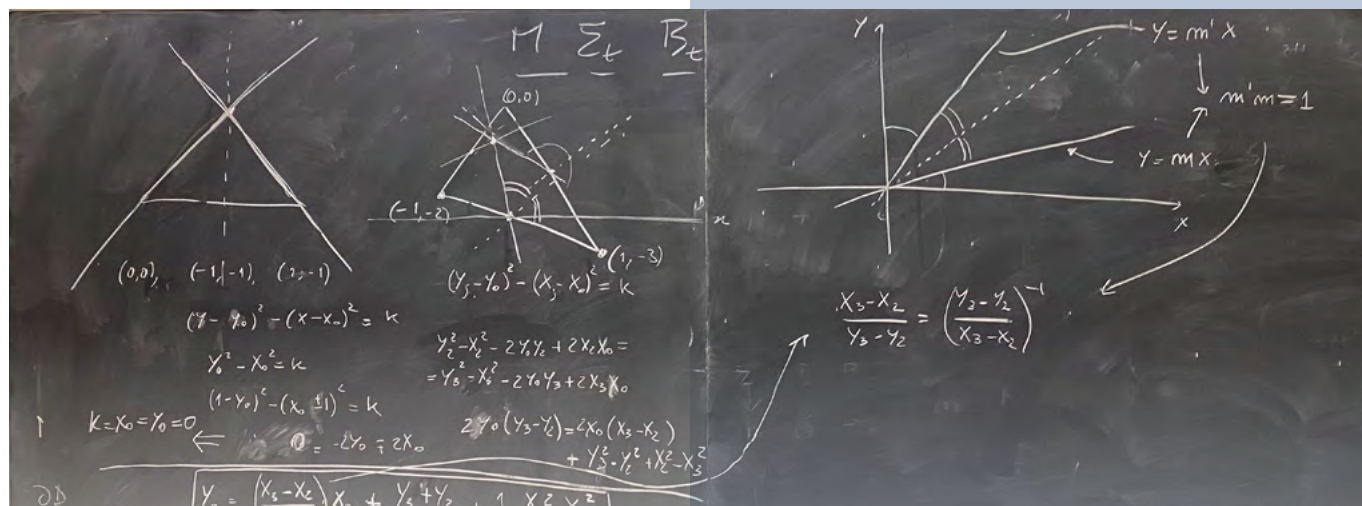
Ces changements représentent de nombreux défis, mais aussi des opportunités. Vivre en première ligne de la recherche scientifique signifie évoluer chaque jour, apprendre de nouvelles tâches et méthodes, et pousser la connaissance humaine jusqu'à ses limites. De cette manière, nous espérons qu'à travers notre vie consacrée à la recherche, nous pourrons continuer à rester fidèles à la mission confiée par le Pape Léon XIII, à savoir montrer au monde et à l'Église que foi et science peuvent coexister.



AUX ORIGINES DE L'UNIVERS : LA SPECOLA VATICANA À LA FRONTIÈRE DE LA PHYSIQUE



P. Gabriele Gionti, SJ
Vice-Directeur de la Specola Vaticana



Il y a quelque chose, dans la théorie du Big Bang, que la science moderne ne parvient pas encore à décrire : l'instant initial, un événement situé en dessous du « seuil de Planck », un intervalle de temps extrêmement bref compris entre 0 et 10^{-44} secondes, c'est-à-dire 0, suivi de quarante-quatre zéros avant un chiffre non nul. Imaginez un univers comprimé en un point infiniment petit, dense et chaud comme un atome (comme le pensait Georges Lemaitre) ou comme le noyau d'une étoile au moment culminant de son explosion — si extrême que les lois de la physique que nous utilisons chaque jour (comme la gravité de Isaac Newton ou la relativité d'Albert Einstein) cessent tout simplement de fonctionner. C'est un « silence mathématique », un trou noir de la connaissance. C'est précisément vers ce point que se dirige le groupe de physiciens théoriciens de la Specola Vaticana, l'observatoire du Vatican.

1. Réécrire les règles fondamentales de l'univers

Sous ma direction, l'équipe travaille sur la *gravité quantique* — le rêve d'unifier la mécanique quantique (qui explique le monde microscopique, comme les atomes) avec la relativité générale (qui régit les étoiles et les galaxies).

Nous utilisons une approche appelée *gravité discrète* : l'espace-temps n'est pas une toile lisse et continue, mais un mosaïque de petits morceaux discrets, comme les pixels d'un écran ou les briques Lego d'un château.

L'idée originale remonte aux années 1960, grâce au physicien italien Tullio Regge. Aujourd'hui, elle est développée avec des mathématiques avancées et des ordinateurs très puissants. Le cœur du problème réside dans l'*intégrale des chemins* de Richard Feynman, prix Nobel de physique. Pour prévoir comment se déplace une particule quantique, il faut sommer toutes les trajectoires possibles qu'elle pourrait avoir empruntées — pas seulement la ligne droite, mais aussi celles qui sont courbes et absurdes. Chaque trajectoire possède un « poids » mathématique (appelé mesure quantique), comme une note de 1 à 10. Pour la gravité, ce poids (techniquement le *déterminant de Faddeev-Popov*) n'avait pas pu être calculé ; au sein de la communauté scientifique, cela avait suscité un débat resté sans conclusion. Les résultats des simulations numériques fournissaient des données peu claires.

Le tournant est venu de la méthode « simpliciale avec coordonnées », créée par le professeur Alessandro D'Adda, décédé en 2023 (qui fut mon directeur de thèse). C'est comme organiser un puzzle chaotique : on divise l'univers en petits triangles (simplexes). On attribue, de manière arbitraire, à chaque sommet des coordonnées qui définissent un système de référence dans chaque triangle. Cette première partie est l'idée de D'Adda et, pour l'instant, nous sommes au niveau de la physique classique.

J'ai eu l'idée d'appliquer ce concept au monde quantique. Pour le poids de l'intégrale de Feynman, on décide de ne choisir qu'une seule « classe » de références dans chaque triangle, le *gauge-fixing* (une astuce pour choisir la bonne perspective, comme orienter correctement une carte), puis on calcule le poids précis. Résultat ? Il est désormais possible de simuler l'instant zéro du Big Bang en respectant les règles quantiques et en obtenant des résultats qui ne sont pas contradictoires, mais qui présentent une cohérence interne. Exemple : imaginez prédire la météo – au lieu d'un nuage confus, vous obtenez une prévision nette et précise.

2. Rétablir le vrai temps

Une autre énigme : pour simplifier, de nombreux physiciens traitent le temps comme une quatrième dimension spatiale, en utilisant la *métrique euclidienne*, où tout est positif, comme les distances sur une carte. Cela fonctionne pour les calculs, mais ce n'est pas la réalité. Einstein nous a enseigné que l'espace et le temps sont différents : dans la *signature de Minkowski*, les distances espace-temps (spatiales et temporelles combinées) peuvent être « négatives » par rapport aux distances purement spatiales, tandis que dans l'espace euclidien elles sont toujours positives, car le temps y est traité comme une dimension spatiale.

Je souhaite reconstruire toute la théorie de la gravité discrète en partant de cette physique réelle, sans expédients comme la « rotation de Wick » (un saut mathématique qui sert finalement à « corriger » la *signature de Minkowski*). Ainsi, les distances dans l'espace-temps redeviennent juste : *time-like* (de type temps, correspondant à des mouvements à des vitesses inférieures à celle de la lumière), *space-like* (de type espace, distances qui n'ont de sens qu'en mathématiques mais pas en physique, car elles impliqueraient des vitesses supérieures à celle de la lumière) ou *light-like* (distances de type lumière, lorsque l'on se déplace à la vitesse de la lumière).

C'est comme passer d'une photo aplatie à un modèle 3D interactif : plus complexe à construire, mais fidèle à l'original. Dans la communauté scientifique, construire une théorie de la gravité discrète avec le « vrai temps » est le *Saint Graal* — y parvenir changerait tout, comme découvrir la recette parfaite du pain cosmique.

3. Explorer à l'envers, vers des théories cachées

Notre équipe, avec le jeune étudiant bolognais de master en physique théorique Alberto Gavioli, don Matteo Galaverni et des professeurs comme Alexander Kamenshchik et Sergio Cacciatori, utilise une méthode « de détective » : le raisonnement inversé.

Au lieu de partir d'une théorie pour la tester (« si j'ai cette recette, quel gâteau obtiendrai-je ? »), nous partons du « gâteau déjà cuit » — les équations qui expliquent l'univers observé — et remontent vers les recettes originales possibles.

Question explosive : les lois de la gravité d'Einstein sont-elles les seules possibles, ou en existe-t-il d'autres qui donnent les mêmes résultats visibles mais réservent des surprises ? Ce n'est pas abstrait : 95 % de l'univers est « sombre » — de la matière et de l'énergie que nous ressentons (elles font accélérer les galaxies) mais que nous ne voyons pas. Exemple : imaginez un gâteau qui lève de façon étrange — peut-être que ce n'est pas dû à une levure cachée, mais que la recette de base est incorrecte. La matière noire et l'énergie sombre pourraient être le signe que la gravité, telle que nous la connaissons et la décrivons, doit être corrigée.

4. Changer de point de vue change la physique

La collaboration avec don Matteo Galaverni, Sergio Cacciatori et Federico Scali (Université de Côme) a remis en question un postulat fondamental de l'« inflation cosmique » — une phase d'expansion extrêmement rapide juste après le Big Bang initial, comme un ballon gonflé en un instant. Les physiciens passent du « *cadre de Jordan* » (variables compliquées) à celui d'« *Einstein* » (plus simples), en supposant que le résultat physique reste invariant, comme traduire un livre sans en changer le sens.

Il a été démontré que ce n'est pas toujours vrai : dans certains cas, le changement modifie la physique elle-même ! C'est un séisme : comme découvrir que tourner une carte n'est pas neutre, mais vous fait voir de nouvelles routes. Nous nous concentrons maintenant sur les trous noirs — des monstres cosmiques qui avalent tout. Cette « *non-équivalence* » pourrait expliquer l'entropie (le « désordre » qui mesure comment l'information, initialement ordonnée, subit une dégradation et devient désordonnée à cause des processus physiques se produisant près d'un trou noir) et comment l'univers cache des secrets depuis ses origines, comme un coffre-fort avec plusieurs codes.

Une science qui contemple

À la Specola Vaticana apparaît non seulement une science de pointe, mais aussi une vision profonde : l'étude des équations de l'origine de tout est une contemplation. Là où l'espace et le temps se fondent, on touche au mystère ultime. Pour des scientifiques qui sont aussi prêtres, chaque équation révélée ne les éloigne pas de Dieu, mais illumine l'ordre rationnel de la création — comme déchiffrer une symphonie divine. Raison et foi, à nouveau, avancent main dans la main.

LE VATT : TRENTÉ ANS D'EXCELLENCE DE L'ASTRONOMIE VATICANE



P. Chris Corbally, SJ
Specola Vaticana

Innovations astronomiques, instruments de pointe et recherche scientifique sur le mont Graham

Le Vatican Advanced Technology Telescope (VATT) est l'instrument principal de la Specola Vaticana depuis 30 ans. Il se situe à une altitude de 3.200 mètres sur le mont Graham, dans le sud de l'Arizona, à 110 km de la ville de Tucson. Le VATT est un projet commun entre la Specola Vaticana (75 %) et le Steward Observatory de l'Université de l'Arizona (25 %). Le miroir de 1,8 mètre du VATT a été fabriqué au Richard F. Carris Mirror Laboratory de l'Université de l'Arizona et a été le premier miroir réalisé en utilisant des technologies révolutionnaires telles que le four rotatif et une structure interne en nid d'abeille pour plus de rigidité. Ces méthodes sont aujourd'hui utilisées de manière courante pour fabriquer des miroirs plus grands, de 8 à 10 mètres. Grâce au climat sec du désert autour de Tucson, à l'altitude élevée du mont Graham et à l'engagement constant pour préserver la qualité du ciel dans cette région, le VATT bénéficie de l'une des meilleures conditions d'observation de l'hémisphère nord. Le VATT partage le mont Graham avec deux autres télescopes : le Large Binocular Telescope (deux miroirs de 8 mètres) et le télescope Submillimétrique. De plus, les montagnes autour de Tucson abritent la plus grande concentration de télescopes des États-Unis continentaux, offrant à l'Observatoire et au VATT un environnement et des infrastructures d'une richesse exceptionnelle pour leurs activités.

Comment la Specola Vaticana s'est-elle retrouvée avec un télescope en Arizona ? En raison de l'augmentation de la pollution lumineuse autour de Castel Gandolfo, les astronomes du Vatican cherchaient un nouvel emplacement pour leur télescope. Dans les années 1980, le directeur récemment nommé, le père George Coyne, envoya un groupe d'astronomes former une petite équipe à l'Université de l'Arizona, où ils pouvaient avoir une facilité d'accès à plusieurs des meilleurs télescopes du monde, moyennant une modeste redevance annuelle. Entre-temps, le professeur Roger Angel inventa une nouvelle méthode de fabrication des miroirs pour télescopes et testa un prototype de miroir d'un diamètre de 1,8 mètre, qu'il proposa à la Specola Vaticana. Le père George Coyne accepta cette offre, à condition que le Steward Observatory continue d'être associé au projet.



Les campagnes de collecte de fonds qui suivirent, menées avec intensité et soutenues par des amis généreux, anciens et de nouveaux, conduisirent à donner aux nouvelles installations le nom de deux grands donateurs : le télescope Alice P. Lennon et le centre d'astrophysique Thomas J. Bannan. En outre, de nombreux dons et des campagnes de financement bien organisées contribuèrent à améliorer et à moderniser le télescope. Aujourd'hui, le télescope est financé grâce aux efforts de collecte de fonds de la Vatican Observatory Foundation et au généreux soutien du Gouvernorat.

Malgré ses dimensions modestes, le VATT coûte près d'un demi-million de dollars par an d'entretien : les principales dépenses concernent le personnel qualifié, les infrastructures et les services nécessaires pour exploiter un télescope dans un environnement aussi extrême.

Bien qu'il ait 30 ans, le VATT est en constante évolution. Un télescope est comme un être vivant : il a constamment besoin d'ajustements et de mises à jour. Et ce pour plusieurs raisons. La première est que l'électronique et la mécanique ont une durée de vie limitée, surtout à haute altitude comme c'est le cas pour le VATT, et doivent être remplacées et modernisées à intervalles réguliers. Ensuite, les évolutions technologiques rendent obsolètes de nombreux systèmes plus anciens, mais introduisent aussi de nouvelles technologies qui permettent une meilleure utilisation des ressources et des infrastructures. Par ailleurs, l'utilité d'un télescope dépend en grande partie de

ses instruments. Au fil des années, le télescope a accueilli plusieurs instruments temporaires. Aujourd'hui, il dispose de sa propre caméra CCD 4k et d'un spectrographe optique (qui permet de décomposer la lumière selon ses couleurs constitutives). À mesure que ces instruments vieillissent, de nouvelles installations sont prévues, ce qui permettra aux astronomes de mener des expériences plus innovantes et créatives. Les astronomes de l'Observatoire ont beaucoup travaillé pour automatiser et robotiser le VATT, le rendant entièrement automatique. Cela permettra une utilisation plus efficace du télescope : par exemple, il sera possible d'exécuter chaque nuit plusieurs programmes de suivi à long terme d'objets astronomiques, ce qui était jusqu'à présent impossible. Une généreuse donation du Thomas Lord Charitable Fund, ainsi qu'une contribution personnelle de sa présidente, Mme Judy Alstadt, ont rendu cela possible. Depuis le début de l'année, le VATT est entièrement automatisé et, le 29 septembre 2025, la première session du VATT totalement réalisée à distance a été testée avec succès. Grâce à cette mise à jour, le VATT entame aujourd'hui une seconde vie.

Mais une question fondamentale demeure : quelle est l'utilité du VATT à l'ère des télescopes spatiaux et des télescopes de classe 8 mètres ? Le domaine scientifique du VATT a toujours été celui du suivi et de l'observation à long terme d'objets astronomiques, en particulier dans l'hémisphère Nord. Étant donné le coût élevé et la disponibilité limitée du temps d'observation, il est très difficile d'obtenir plus de trois jours sur des télescopes plus grands ou sur des télescopes spatiaux. Le suivi à long terme d'étoiles particulières ou de grands trous noirs peut, en revanche, être réalisé régulièrement avec le VATT. Associé à un spectrographe à haute résolution, le VATT se distingue également par sa capacité à obtenir des spectres de grande qualité d'étoiles lumineuses et de quasars. Au fil des années, il s'est toutefois surtout illustré dans la découverte et la caractérisation d'astéroïdes, d'objets géocroiseurs et de corps transneptuniens. Les collaborations avec de nombreuses institutions astronomiques ont aussi montré que des télescopes comme le VATT sont souvent idéaux pour tester de nouvelles idées et de nouveaux instruments avant de les transférer sur des installations plus grandes. Deux observations en découlent : a) l'utilité du VATT augmente considérablement lorsqu'il est ouvert à une communauté astronomique plus large ; b) le télescope devient beaucoup plus productif grâce à des instruments plus récents et à une gamme d'équipements plus étendue.

Au cours des trente dernières années, le VATT a également été un excellent télescope utilisé par les jeunes astronomes des universités de l'Arizona dans le cadre de leur formation. Grâce à la généreuse donation de Mme Kim Bepler, l'Observatoire a lancé cette année un programme pilote qui met 20 % du temps d'observation du télescope à la disposition d'étudiants de plusieurs universités jésuites d'Amérique du Nord ne disposant pas de ressources ou de l'accès à un télescope pour leurs recherches. Notre espoir est qu'un jour le VATT puisse être mis à la disposition des universités du monde entier, en particulier dans les pays en développement, afin de contribuer à la formation de la prochaine génération d'astronomes.

En tant que seul télescope de recherche actif du Vatican, le VATT a servi — et continue de servir — comme puissant symbole de l'engagement de l'Église en faveur de l'astronomie et des sciences. Le fait que l'Église exploite l'un des plus grands télescopes au monde contribue bien davantage au dialogue entre science et religion que ne pourraient le faire des dizaines d'articles philosophiques ou académiques sur le sujet. Au-delà des nombreux résultats scientifiques qu'il a permis d'obtenir, le VATT se dresse comme un phare symbolique au sommet d'une montagne, promouvant la mission de l'Observatoire : « montrer au monde que la foi et la science peuvent aller de pair ».

LA COLLECTION DE MÉTÉORITES DU VATICAN



Fr. Bob Macke, SJ

Conservateur de la collection de météorites de la Specola Vaticana

Les météorites sont des capsules temporelles qui conservent des informations sur l'histoire et les origines de notre système solaire et qui possèdent une immense valeur historique et scientifique

Bien que les astronomes dépendent en grande partie de l'étude de la lumière (rayonnement électromagnétique) provenant d'objets très éloignés, les sciences planétaires offrent parfois la possibilité d'accéder directement à de la matière véritable. Des sondes spatiales ont visité des planètes et des lunes dans tout le système solaire et, dans des cas très rares, ont pu prélever des échantillons directement sur ces corps et les rapporter sur Terre afin de les étudier. Par exemple, la mission OSIRIS-REx a prélevé de la matière sur l'astéroïde (101266) Bennu et l'a rapportée sur Terre pour être analysée par une collaboration réunissant de nombreuses institutions dans le monde, dont les chercheurs de la Specola Vaticana. Toutefois, ces missions sont extrêmement coûteuses et ne permettent de rapporter qu'une très petite quantité de matière. Mais nous avons également les météorites. Ces roches, tombées sur la Terre depuis l'espace, fournissent une abondante source de matériel d'origine extraterrestre à étudier.

La Specola Vaticana abrite une collection de 1.226 échantillons provenant de 543 météorites différentes. Les origines de cette collection remontent au Marquis Adrien Charles de Mauroy (1848-1927), naturaliste passionné et collectionneur de météorites et d'échantillons minéralogiques. À son époque, il possédait la plus grande collection privée de météorites au monde. Catholique fervent, il fit don de son vivant d'environ 200 échantillons à la Specola Vaticana à des fins d'étude. Après sa disparition, son épouse fit don du reste de la collection. Au total, environ 1.000 de nos échantillons provenaient à l'origine de la collection du Marquis. L'accroissement ultérieur de la collection est en grande partie dû aux généreuses donations d'autres collectionneurs de météorites au cours des cent dernières années.

Comme le Marquis collectionnait principalement des météorites dont la chute avait été observée — l'identification et la collecte de météorites tombées sur Terre depuis longtemps n'en étant alors qu'à leurs débuts — la collection comprend plusieurs pièces d'une grande importance historique. Parmi celles-ci figure Ensisheim, tombée en 1492, première météorite en Europe dont la chute ait été bien documentée ; ainsi que L'Aigle, tombée en 1803 et étudiée





par des membres de l'Académie française des sciences, dont les travaux ont démontré que les météorites provenaient de l'espace (et non des volcans, comme certains le pensaient). La collection comprend également des spécimens très rares, comme Chassigny, l'un des trois seuls représentants connus de la sous-classe de météorites martiennes appelées chassignites. Elle contient aussi des objets d'une valeur inestimable, notamment une roche lunaire provenant de la mission Apollo 17, offerte au Vatican en 1972 par le gouvernement des États-Unis.

Ces météorites sont des capsules temporelles qui conservent des informations sur l'histoire et les origines de notre système solaire. Elles ont une immense valeur historique, scientifique et également économique : il suffit de penser que les plus rares ont une valeur de marché de plus de 1.000 euros le gramme.

La Specola Vaticana dispose d'un laboratoire où l'on analyse les météorites et la valeur scientifique de ces échantillons. Bien que nous ne disposions pas du budget nécessaire pour les machines coûtant plusieurs millions d'euros requises pour les analyses chimiques et isotopiques, nous avons trouvé une niche dans la mesure des propriétés physiques, en particulier la densité et la porosité. Le laboratoire s'est constitué à partir du laboratoire d'astrophysique de la Specola, où, dans les années 1930 et 1940, s'est développé le domaine de l'analyse spectroscopique des métaux et des minéraux (la revue *Spectrochimica Acta* a été fondée à la Specola Vaticana). Aujourd'hui, les anciens instruments de spectroscopie ont été remplacés par des appareils compacts permettant de mesurer le volume et la densité des météorites. La collection est également mise à la dis-

position d'autres chercheurs dans le monde entier qui ont besoin d'échantillons pour leurs études scientifiques. En général, nous prêtons environ dix échantillons par an pour des recherches menées dans d'autres institutions.

Récemment, dans le but de mieux documenter la précieuse collection de météorites, nous nous sommes consacrés à la numérisation 3D. Nous avons acquis un scanner à lumière structurée (SLS) qui utilise la photogrammétrie pour créer sur ordinateur un modèle 3D en couleur de chaque échantillon. Une fois cette opération achevée, nous disposerons d'un enregistrement tridimensionnel de chaque spécimen qui servira non seulement de référence précieuse pour les autres chercheurs, mais contribuera également à prévenir les pertes et à documenter d'éventuels dommages pouvant survenir lors des prêts de météorites. Par ailleurs, les scans facilitent la recherche, car ils nous permettent de calculer les volumes et les densités à partir des modèles numériques.

La collection de météorites est une ressource précieuse confiée à la Specola Vaticana, qui l'a soigneusement conservée et progressivement enrichie au cours des 100 dernières années. Sa valeur scientifique a été démontrée par de nombreux articles et publications issus des recherches menées sur ces pierres rares. Les visiteurs de notre siège central viennent souvent avec l'intention spécifique de voir cette collection. Nous continuons à chercher des moyens d'améliorer la documentation de ce trésor, que nous espérons rendre accessible aux chercheurs et aux collègues. À l'avenir, nous souhaitons poursuivre l'enrichissement de la collection et développer son importance scientifique.

LE DIALOGUE ENTRE LA SCIENCE ET LA FOI : HÉRITAGE ET NOUVEAUX DÉFIS



P. José Gabriel Funes, SJ
Specola Vaticana

Nous vivons sur une planète accélérée, au sein d'un univers accéléré, et souvent nous ne nous en rendons pas compte. L'univers s'étend de manière accélérée sous l'effet de l'énergie sombre ; la Terre, dans son orbite autour du Soleil, subit l'accélération due à la force gravitationnelle. Mais la pire chose qui puisse nous arriver est peut-être de ne pas être conscients de vivre dans une culture soumise à des changements accélérés.

Aujourd'hui, on entend souvent répéter que « le changement, c'est tout ou rien ». Il me semble que cette expression reflète une idéologie qui cherche à transformer la société et les personnes de manière violente, sans respecter le temps propre aux processus sociaux et personnels. En effet, l'accélérationnisme est un courant de pensée qui soutient que les processus technologiques et sociaux ne doivent pas être freinés, mais au contraire intensifiés afin de précipiter une transformation radicale du système. Certes, nous devons changer, nous convertir spirituellement maintenant que nous sommes en Carême, mais en veillant à ce que les idées ne détruisent pas les personnes les plus vulnérables et ne détériorent pas davantage les relations sociales entre les différents acteurs qui composent le tissu social.

J'avoue que ces derniers temps, il m'arrive parfois d'avoir l'impression de faire partie d'un épisode de *Black Mirror* ou de l'un des films de la série *Matrix*. Nous avons du mal à distinguer la réalité virtuelle et la réalité augmentée des portails d'information qui se prétendent sérieux et objectifs, des réseaux sociaux et des mèmes qui racontent une histoire épique de batailles de super-héros contre des moulins à vent,

en absorbant d'énormes ressources humaines et économiques, tandis qu'un grand nombre de nos frères et sœurs que le système expulse sont abandonnés le long du chemin.

Le Pape Léon a abordé la question de l'intelligence artificielle et de ses défis dans son Message pour la Journée mondiale des communications sociales. Comme le fait remarquer le Pape, la question anthropologique constitue le défi principal. Il s'agit de la question ancienne que l'humanité se posait déjà et qui demeure toujours d'une grande actualité : « Qu'est-ce que l'homme pour que tu penses à lui, le fils d'un homme, que tu en prennes souci ? » (Ps 8, 5). Un dialogue renouvelé entre science et foi doit placer au centre l'être humain et son rapport avec la nature et la technologie.

Au cours de mes dernières années d'étude, je suis parvenu à cette question anthropologique par deux voies étroitement liées. Tout d'abord, la recherche d'une vie extraterrestre intelligente demande d'examiner qui est Homo sapiens, puisque nous sommes, d'une certaine manière, intéressés à communiquer avec un alter ego cosmique. Ensuite, les progrès de l'intelligence artificielle nous conduisent, à mon avis de manière injustifiée, à la comparer à l'intelligence humaine. L'apparition de l'intelligence dans l'univers, depuis l'évolution biologique jusqu'aux systèmes artificiels, représente l'un des mystères les plus profonds auxquels sont aujourd'hui confrontées la science contemporaine, la philosophie et la religion. Ces deux chemins — la recherche d'intelligences cosmiques et la création d'intelligences artificielles — nous ramènent à la même question fondamentale : qui sommes-nous ?



Jusque-là, nous pourrions penser que la question de savoir ce que signifie être humain relève d'une discussion purement académique. Néanmoins, chacun de nous possède une perspective anthropologique qui façonne nos décisions quotidiennes et qui définit également notre parcours en tant que société.

La Specola Vaticana a joué un rôle significatif dans la promotion du dialogue entre science et foi, en particulier durant le pontificat de saint Jean-Paul II. La lettre de 1988 adressée au directeur de la Specola, le P. George Coyne SJ, à l'occasion du tricentenaire des *Principia* de Newton, demeure un document fondamental. Les *Study Weeks* organisées par la Specola sur des thèmes tels que la cosmologie, l'évolution biologique et les neurosciences ont créé des espaces de rencontre entre scientifiques, philosophes et théologiens. Avec les paroles du Pape Léon XIV, nous pouvons dire que la Specola peut « offrir une *diaconie de la culture*, moins de chaires et davantage de tables autour desquelles s'asseoir ensemble, sans hiérarchies inutiles, pour toucher les blessures de l'histoire et chercher, dans l'Esprit, des sagesses qui naissent de la vie des peuples » (*Dessiner de nouvelles cartes d'espérance*, 9.3).

Depuis des décennies, nous assistons à un divorce entre la science et l'humanisme. Aujourd'hui, le dialogue se trouve confronté à des questions inédites. L'intelligence artificielle soulève des interrogations sur la signification de l'intelligence, de la conscience et de la dignité humaine. L'astrobiologie, avec la recherche d'une vie extraterrestre, pose des questions théologiques concernant l'unicité de la création et de l'Incarnation. Le changement climatique exige une réflexion éthique sur la responsabilité de l'être humain envers la création. Ces défis mettent en évidence l'actualité de la question anthropologique et de la vision du monde qu'elle implique. Plus que jamais, le dialogue requiert l'interdisci-

plinarité. Il est nécessaire d'effectuer un travail commun où scientifiques, philosophes et théologiens s'écoutent et se laissent interpeller mutuellement. La Specola Vaticana possède la crédibilité nécessaire pour réunir des experts autour des questions mentionnées ci-dessus.

C'est précisément pour cette raison que la Specola Vaticana, fidèle à sa tradition d'organiser des semaines d'étude interdisciplinaires réunissant des chercheurs de premier plan pour aborder des questions fondamentales sur la nature de la réalité et sur la place de l'humanité en son sein, propose une *Study Week* pour mai 2028 intitulée « An Intelligent Universe », consacrée à l'exploration de l'intelligence dans ses multiples manifestations — de l'intelligence biologique à l'intelligence artificielle — dans un cadre intégrant les perspectives scientifique, philosophique et religieuse. Les objectifs sont ambitieux mais nécessaires : réunir des scientifiques, des philosophes et des théologiens afin d'examiner l'intelligence comme phénomène cosmique ; promouvoir un dialogue interdisciplinaire authentique permettant d'élaborer des cadres conceptuels pour comprendre les différentes formes d'intelligence et leur signification pour l'autocompréhension humaine ; aborder les implications éthiques du développement de l'intelligence artificielle et de l'exploration spatiale ; et produire des publications académiques qui fassent progresser le dialogue entre science, philosophie et religion sur ces questions fondamentales.

À une époque accélérée, le chrétien est appelé à ne céder ni à la peur ni à la précipitation. La question du psalmiste résonne encore, non comme une relique du passé, mais comme une boussole pour l'avenir. Notre défi est d'habiter ce temps avec lucidité et espérance, en sachant que la vérité sur l'être humain s'enracine dans cet horizon de sens que nous donne le Seigneur de l'histoire cosmique et humaine.



FAIRE DE LA MÉTÉOROLOGIE À LA SPECOLA VATICANA



P. Bayu Risanto, SJ
Specola Vaticana

La météorologie, son lien historique avec la Specola Vaticana et sa contribution à la sensibilisation sur la question des changements climatiques

Les prévisions météorologiques sont indispensables dans le monde d'aujourd'hui. De la gestion des activités personnelles quotidiennes au transport de marchandises à travers les océans, de la planification d'un itinéraire pour un vol commercial à la gestion d'une compagnie d'assurances, chacun consulte les prévisions du temps. Leur histoire remonte aux années 1800, mais les techniques et méthodes modernes de prévision météorologique, telles que nous les connaissons aujourd'hui, ont commencé pendant la Seconde Guerre mondiale. Depuis lors, les prévisions météorologiques se sont appuyées sur les équations de la fluidodynamique. Malheureusement, la nature de l'atmosphère est chaotique et il faudrait des jours, voire des semaines, pour les résoudre. Avec l'avènement des ordinateurs modernes dans les années 1950, les modèles météorologiques sont devenus le premier ensemble d'équations mathématiques exploitant la puissance de calcul rapide des ordinateurs, comme par exemple l'Electronic Discrete Variable Automatic Calculator (EDVAC) de l'Université de Pennsylvanie.

Vers les années 1960, la capacité des modèles a été élargie, passant de la prévision quotidienne du temps à la projection du climat. Aujourd'hui, les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC / IPCC) discutent des résultats des modèles climatiques établis selon différents scénarios possibles : des modèles prévoyant l'impact d'émissions de carbone nulles dans les prochaines décennies, à ceux prévoyant l'impact d'une augmentation des émissions de carbone chaque décennie. Ces modèles sont très utiles non seulement pour informer les décideurs politiques (gouvernement) sur les actions à mener concernant l'environnement, mais aussi pour sensibiliser l'opinion publique au fait que le changement climatique anthropique (d'origine humaine) est une question sérieuse. Pour ce travail considérable, le GIEC a reçu le Prix Nobel de la Paix en 2007, tandis que Syukuro Manabe, de l'Université de Princeton, et Klaus Hasselmann, du Max Planck Institute for Meteorology, ont reçu le Prix Nobel de Physique en 2021 pour avoir ouvert la voie à la modélisation physique du climat terrestre, en quantifiant sa variabilité et en prévoyant de manière fiable le réchauffement global.

Où se situe l'Église dans tout cela ? Lors de la 35^e Congrégation générale des Jésuites en 2008, ceux-ci ont exprimé leurs préoccupations concernant les changements climatiques et la dégradation



de l'environnement. Ils ont invité toutes leurs maisons et leurs œuvres à sensibiliser le public et à entreprendre les actions nécessaires pour lutter contre ces problèmes environnementaux. Plus récemment, en 2015, le Pape François a publié l'Encyclique *Laudato Si'* pour aborder à la fois les questions environnementales et sociales de notre époque. Il rappelle à chaque être humain que l'injustice commise contre notre maison commune est équivalente à celle commise contre nos frères et sœurs pauvres et marginalisés. Il invite non seulement les catholiques, mais aussi toute personne de bonne volonté, à une véritable reformatio vitae. Depuis cette date, l'esprit de *Laudato Si'* s'est diffusé parmi toutes les personnes et dans de nombreuses institutions.

La Specola Vaticana, qui observe et étudie le ciel depuis 1871, porte également son regard sur la Terre, sa maison. Une initiative concrète que la Specola Vaticana a mise en place ces

dernières années a été l'exploitation de l'énergie de notre étoile, le Soleil, en installant une série de panneaux solaires sur le toit du siège de l'Observatoire à Tucson, en Arizona. L'énergie qui alimente désormais nos appareils électroniques — des lampes aux réfrigérateurs, en passant par les ordinateurs — provient à 100 % directement de notre étoile, visible presque toute l'année dans le ciel limpide du désert de l'Arizona. Cela permet de réduire de manière significative notre consommation d'énergie ! Un autre geste témoignant de l'attention de la Specola à l'égard de l'environnement a été de me coopter comme météorologue (scientifique de l'atmosphère), pour travailler à la recherche et à la modélisation météorologique, puis progressivement à la recherche sur le climat.

Cependant, je n'ai pas été le seul météorologue dans l'histoire de la Specola Vaticana ; plusieurs jésuites, et même quelques non-jésuites, ont travaillé dans le domaine de la météorologie. Angelo Secchi, S.J., connu comme le père de l'astrophysique, en faisait partie. En effet, c'était à son époque un météorologue passionné. Il construisit la première machine appelée météorographe, qui enregistrait quotidiennement les données météorologiques : températures, direction et vitesse du vent, pression atmosphérique. Pour ce météorographe, Secchi reçut la médaille d'or du Grand Prix à l'Exposition universelle de Paris en 1867. Sa passion pour la météorologie visait à comprendre la dynamique de l'atmosphère et, ce faisant, il espérait en tirer des prévisions qui permettraient d'informer les gens sur les conditions météorologiques à venir.

De nos jours, le domaine de la météorologie et de la climatologie utilise largement les superordinateurs pour analyser des pétaoctets de données qui affluent chaque seconde depuis les satellites et les observations terrestres, et prévoir le temps ou le climat futur.

La Specola Vaticana n'a pas besoin de posséder ou d'installer ses propres sites d'observation. Nous avons seulement besoin d'accéder à ces ensembles de données, aux ressources de calcul et, surtout, de faire preuve de créativité et de collaboration avec d'autres scientifiques de l'atmosphère à travers le monde, afin de contribuer à la compréhension de l'atmosphère et à l'amélioration des prévisions météorologiques et des projections climatiques. Tel est le véritable apport à l'humanité que la Specola Vaticana peut offrir aujourd'hui au nom de l'Église.

Pour apporter cette contribution, je poursuis ma collaboration avec des collègues aux États-Unis, au Mexique, en Arabie Saoudite et dans plusieurs pays d'Amérique du Sud. J'agis désormais au nom de la Specola Vaticana. Mon travail de recherche couvre l'assimilation des données, le suivi des nuages, les prévisions météorologiques extrêmes, ainsi que les projections climatiques pour l'ensemble de l'Amérique du Sud. Pour la première fois, j'ai présenté mes recherches sur l'assimilation des données au nom de la Specola Vaticana lors de l'assemblée annuelle de l'European Geoscience Union à Vienne, en 2025. La présentation a été accueillie avec enthousiasme ! Bien que trop technique et



complexe pour être détaillée ici, ses résultats offrent un certain espoir d'améliorer les prévisions de pluie dans les régions où les données d'observation sont limitées ou absentes. En ce qui concerne les projections climatiques, je participe à un groupe de travail qui planifie actuellement plusieurs scénarios modèles concernant les changements dans les paysages des forêts tropicales d'Amérique du Sud. Nous sommes impatients de découvrir comment ces transformations influenceront le climat de l'Amérique du Sud.

Avec le développement récent de l'Intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique (IA/ML), la communauté de la modélisation atmosphérique explore des moyens d'appliquer cette technologie aux prévisions météorologiques. Grâce à la disponibilité de données d'observation accumulées sur plusieurs décennies et de modèles de réanalyse, il est aujourd'hui possible d'entraîner les ordinateurs à reconnaître des schémas et comportements de l'atmosphère, dans l'espoir qu'ils puissent, à l'avenir, contribuer aux prévisions météorologiques. L'un des défis actuels consiste à vérifier si les systèmes basés sur l'IA/ML peuvent produire des prévisions météorologiques à court terme, par exemple sur 24 heures, avec des performances comparables ou supérieures à celles des modèles physiques traditionnels couplés à des techniques d'assimilation de données.

Certaines personnes dans la communauté de la modélisation estiment qu'il n'est pas possible d'avoir confiance à 100 % dans l'IA/ML pour faire des prévisions météorologiques ; les modèles physiques restent encore nécessaires. Une manière de l'utiliser consiste à la laisser gérer certains calculs non linéaires dans les modèles atmosphériques. Cela permettra aux modèles de fonctionner plus rapidement et pourrait, éventuellement, réduire les incertitudes sur certaines variables.

Bien que nous vivions dans l'atmosphère terrestre et respirions de l'air à chaque instant, nous en savons encore très peu. Il reste donc beaucoup à faire dans le domaine de la météorologie et des sciences de l'atmosphère, et la Specola Vaticana peut y apporter sa contribution.

LA SPECOLA VATICANA, UN MOIS AVEC LES JEUNES ASTRONOMES DE DEMAIN



P. David Brown, SJ
Specola Vaticana

L'École d'été organisée tous les deux ans forme des talents internationaux en mettant l'accent sur l'inclusion, l'excellence scientifique et la collaboration mondiale aux nouvelles frontières de l'astronomie.

L'un des événements les plus importants de la Specola Vaticana est l'École d'été d'un mois destinée aux étudiants avancés en astronomie, qui se tient tous les deux ans au siège de la Specola à Castel Gandolfo. Initialement proposée par le regretté Martin McCarthy, l'École d'été de la Specola Vaticana (VOSS) accueille des étudiants qui terminent leur licence ou qui commencent un cycle de spécialisation et souhaitent entreprendre une carrière en astronomie. Lancée en 1986, cette école accueille 25 étudiants venus du monde entier, avec un engagement particulier pour soutenir les étudiants originaires des pays en développement. Les enseignants des différentes éditions proviennent des meilleures universités du monde. L'une des caractéristiques distinctives de cette école réside dans les liens qui se créent entre les étudiants durant ces quatre semaines et qui durent souvent toute la vie. Ces écoles ont permis à d'anciens participants de l'École d'été de la Specola Vaticana d'accéder à des postes universitaires importants dans des Universités du monde entier. Ces dernières années, un nombre croissant d'enseignants de

l'école est constitué par d'anciens étudiants des éditions précédentes. Il est frappant de voir leur générosité pour transmettre aux nouvelles générations ce qu'ils ont eux-mêmes reçu gratuitement.

Le thème de l'École d'été qui s'est tenue cette année à la Specola, du 1er au 27 juin 2025, a été « *Explorer l'Univers avec le JWST : les trois premières années* ». Le James Webb Space Telescope (JWST) est le nouveau télescope spatial, successeur du Hubble Space Telescope ; les images et les données qu'il fournit approfondissent la compréhension du cosmos par l'humanité. Cette année, l'École s'est déroulée sous ma direction, en tant que l'École d'été, servant de lien entre les enseignants, les étudiants, le personnel, la communauté jésuite et le Directeur de la Specola. Les docteurs Eiichi Egami, Almudena Alonso Herrero, Roberto Maiolino, Maria Drozdovskaya et Thomas Greene faisaient partie du corps enseignant de l'École, tous spécialisés dans différents aspects du télescope Webb. Trois des enseignants étaient d'anciens étudiants de l'École d'été. Les enseignants guident les étudiants à travers des cours et des projets de recherche spécifiques. Les 25 étudiants ont été sélectionnés parmi un groupe de candidats internationaux, avec plus de 50 % de femmes. Les étudiants choisis ont démontré non seulement un haut niveau de



préparation universitaire, mais également un fort esprit de communauté et un enthousiasme remarquable.

Les Écoles d'été sont très intenses, avec quatre semaines de cours quotidiens, d'exercices pratiques et de conférences données par des invités. De plus, la Specola Vaticana s'occupe des repas des étudiants et des enseignants et organise divers événements sociaux en soirée pendant les week ends. Cette année, des excursions culturelles ont été organisées vers des lieux tels que Subiaco, Florence et Ostia Antica. Pour contribuer à l'atmosphère internationale de l'École, la Specola a invité les Ambassadeurs près le Saint-Siège des pays d'origine des étudiants à visiter la Specola et à déjeuner avec eux. Plusieurs agences de presse, parfois venues des mêmes pays que certains étudiants, ont visité la Specola pour réaliser des reportages sur le travail de la VOSS. Sœur Raffaella Petrini et l'avocat Giuseppe Puglisi-Alibrandi ont visité l'École et échangé avec les étudiants. Enfin, le corps professoral et les étudiants de la VOSS 2025, ainsi que l'ensemble du personnel de la Specola, ont eu le privilège d'être reçus en audience privée par le Pape Léon XIV le 16 juin 2025.

L'École a été rendue possible grâce au généreux soutien de la Vatican Observatory Foundation, basée aux États Unis d'Amérique. Grâce à la générosité de nos donateurs, la Specola Vaticana peut accueillir des étudiants venus du monde entier, indépendamment de leur situation financière. Ce soutien financier lui permet de remplir une mission vitale et essentielle : soutenir de jeunes astronomes issus de milieux moins favorisés, en particulier dans les pays où l'astronomie n'est pas encore très développée.

En plus de l'École d'été, la Fondation soutient la bourse McCarthy Stoeger, qui est offerte à un ancien étudiant de l'École d'été. La bourse McCarthy Stoeger couvre les deux premières années du doctorat en astronomie à l'Université de l'Arizona. Elle porte le nom des regrettés pères Martin McCarthy, S.J., et William Stoeger, S.J., deux membres éminents du personnel de la Specola Vaticana.

La bourse McCarthy Stoeger de la Specola Vaticana pour la période 2026-2028 a été attribuée à l'étudiant chilien Hugo Cortés Muñoz, qui a participé à l'École d'été 2025. Il est actuellement inscrit à un master en astronomie à l'Université du Chili, où il travaille sur un mémoire en astronomie observationnelle extragalactique, portant sur l'étude de l'environnement entourant les galaxies à l'aide d'objets très lumineux, tels que les quasars. Il espère obtenir son diplôme dans les prochains mois et commencer un doctorat pendant l'année 2026.

Hugo Cortés Muñoz est né en 2000 à Santiago du Chili, où il a grandi. Son professeur de physique au lycée l'a convaincu que les nouveaux télescopes construits dans le nord du Chili offraient de grandes opportunités aux Chiliens pour rejoindre la communauté scientifique internationale. Cortés Muñoz s'est inscrit en ingénierie à l'Université du Chili, avant de se tourner vers l'astronomie. Il est intéressant de noter que l'un de ces nouveaux télescopes au Chili porte aujourd'hui le nom de l'une des enseignantes de la première École d'été de 1986 : Vera Rubin.

Avec de nombreux anciens étudiants présents dans les facultés d'astronomie du monde entier, l'École d'été de la Specola Vaticana et la bourse McCarthy Stoeger apportent une grande renommée à la Specola et, plus largement, au Vatican. Les anciens étudiants aiment revenir visiter l'Observatoire de Castel Gandolfo, ce qui témoigne du profond respect et de l'affection dont jouit la Specola dans le monde de l'astronomie.



DISCOURS DU SAINT-PÈRE LÉON XIV AUX PARTICIPANTS À L'ÉCOLE D'ÉTÉ D'ASTROPHYSIQUE ORGANISÉE PAR LA SPECOLA VATICANA

Salle du Consistoire, Lundi 16 juin 2025



Je suis heureux d'avoir l'occasion de saluer chacun de vous, étudiants et chercheurs venus de différentes parties du monde pour participer à l'École d'été de la Specola Vaticana. Je vous offre mes meilleurs vœux, accompagnés de ma prière, afin que cette expérience de vie et d'étude partagées soit non seulement un enrichissement académique et personnel, mais qu'elle aide aussi à développer des amitiés et des formes de collaboration qui ne pourront que contribuer au progrès de la science au service de notre unique famille humaine.

L'École d'été de cette année est consacrée — m'a-t-on dit — au thème « Explorer l'univers avec le télescope spatial James Webb ». Ce doit assurément être un moment enthousiasmant pour être astronome ! Grâce à cet instrument vraiment remarquable, nous sommes pour la première fois capables d'examiner en profondeur l'atmosphère des exoplanètes, où la vie pourrait se développer, et d'étudier les nébuleuses, où se forment les systèmes planétaires eux-mêmes. Avec le Webb, nous pouvons même suivre la lumière ancienne de galaxies lointaines, qui nous parle du tout début de notre univers.

Les auteurs des Saintes Écritures, qui écrivaient il y a de nombreux siècles, n'ont pas pu bénéficier de ce privilège. Cependant, leur imagination poétique et religieuse a réfléchi à ce que pouvait être le moment de la création, lorsque « les étoiles brillent, joyeuses, à leur poste de veille ; il les appelle, et elles répondent : "Nous voici !" Elles brillent avec joie pour celui qui les a faites » (Baruch 3, 34). Aujourd'hui, les images du James Webb ne nous remplissent-elles pas elles aussi d'émerveillement et, effectivement, d'une joie mystérieuse en contemplant leur beauté sublime ?

L'équipe scientifique du Télescope spatial a travaillé avec acharnement pour rendre ces images accessibles au public, et nous pouvons tous leur en être reconnaissants. Cependant, vous tous qui participez à l'École d'été avez reçu de manière particulière les compétences et la formation qui vous permettront d'utiliser cet instrument extraordinaire pour élargir notre connaissance du cosmos, dont nous sommes une partie minuscule mais significative.

Bien sûr, aucun d'entre vous n'est arrivé à ce stade tout seul. Chacun de vous fait partie d'une communauté beaucoup plus vaste. Pensez à toutes les personnes qui, au cours des trente dernières années, ont travaillé à la construction du télescope spatial et de ses instruments, ainsi qu'à celles qui ont élaboré les idées scientifiques pour la vérification desquelles il a été conçu. Au-delà de la contribution de vos collègues scientifiques, ingénieurs et mathématiciens, c'est aussi grâce au soutien de vos familles et de nombreux amis que vous avez pu apprécier et participer à cette entreprise extraordinaire, qui nous a permis de voir le monde qui nous entoure sous un jour nouveau.

Par conséquent, n'oubliez jamais que ce que vous faites vise à bénéficier à tous. Soyez généreux en partageant ce que vous apprenez et ce que vous expérimentez, au mieux de vos capacités et de toutes les manières possibles. N'hésitez pas à partager la joie et l'émerveillement nés de votre contemplation des « semences » que, selon les mots de saint Augustin, Dieu a répandues dans l'harmonie de l'univers (cf. De Genesis ad litteram, V, 23, 44-45). Plus vous partagerez la joie, plus vous créerez la joie, et ainsi, à travers votre quête de connaissance, chacun de vous pourra contribuer à la construction d'un monde plus pacifique et plus juste.

Avec ces réflexions, chers amis, je vous remercie à nouveau de votre visite et je vous assure de mes prières pour vous, vos familles et votre travail ; et j'invoque volontiers sur vous tous les bénédictions de Dieu, de sagesse et de compréhension, de joie et de paix.

Que Dieu vous bénisse.

L'ACCUEIL À LA SPECOLA VATICANA



P. Jacek Olczyk, SJ
Assistant du Directeur de la Specola Vaticana

Depuis près d'un siècle, la Specola Vaticana joue un rôle important dans la diffusion du savoir astronomique, inspirant les visiteurs et favorisant le dialogue entre étudiants, chercheurs et pèlerins à l'échelle mondiale. En collaboration avec les Musées du Vatican, elle organise des visites guidées et des séances d'observation astronomique, rapprochant le public à la fois de l'univers et du riche patrimoine culturel du Vatican.

En empruntant la voie Appia vers le sud, on distingue déjà clairement au loin la silhouette du Palais apostolique de Castel Gandolfo. Sur ses toits se détachent deux coupoles, immédiatement reconnaissables et pourtant si différentes de celles qui surmontent les églises : elles n'abritent ni autels ni reliques, mais des instruments d'observation qui ouvrent des fenêtres sur les régions les plus lointaines et les plus inconnues du ciel. Ce sont les coupoles astronomiques de la Specola Vaticana, qui depuis près d'un siècle permettent de révéler l'univers aux êtres humains, les guidant vers les profondeurs de l'espace. On peut encore voir la devise gravée par le Pape Pie XI près de la coupole photographique : « *Deum Creatorem, venite adoremus !* », inspirée des paroles des Roi Mages : « *Nous avons vu son étoile et nous sommes venus l'adorer !* ». Une invitation qui a accompagné des générations d'astronomes dans leur travail nocturne et qui continue de s'adresser aux visiteurs actuels.

Aujourd'hui, les quatre télescopes sont ouverts aux visiteurs. Les Coupoles du Palais apostolique abritent un télescope visuel et un double astrographe, des instruments qui permettent d'observer et de photographier le ciel avec une grande précision. Ici, les visiteurs peuvent assister à une brève projection sur l'histoire de la Specola Vaticana et admirer une sélection d'instruments astronomiques qui retracent l'évolution de la recherche scientifique. Les Coupoles Barberini, quant à elles, abritent le télescope Schmidt, le « Carte du Ciel » et un vaste espace muséal. Aujourd'hui, les quatre télescopes sont ouverts aux visiteurs et présentent essentiellement un intérêt historique, car, en raison de la pollution lumineuse devenue de plus en plus marquée depuis les années 1970, le télescope utilisé par la Specola Vaticana pour les observations et la recherche astronomique est désormais le VATT (Vatican Advanced Technology Telescope), construit dans les années 1980 à Tucson, en Arizona.



La Specola Vaticana n'est pas seulement un observatoire scientifique, mais aussi un lieu de formation et un pont entre l'histoire, la science et la culture. Quatorze jésuites y travaillent aujourd'hui. Malgré leur petit nombre et leur engagement dans la recherche, ils ont accueilli des visiteurs de tous âges et de toutes provenances au cours de l'année écoulée. Des élèves des lycées locaux, des enseignants universitaires, des chercheurs internationaux, des diplomates près le Saint-Siège, ainsi que de nombreux groupes religieux – jésuites, dominicaines, salésiennes, carmélites et d'autres encore – ont été reçus, offrant ainsi des occasions de dialogue entre foi, science et contemplation de la création.

Ces dernières années, la Specola a entrepris un processus d'ouverture de plus en plus large au public, grâce à la collaboration avec la Direction des Musées du Vatican. Le 3 août 2023 a été lancé le programme officiel de visites guidées de la Specola et de l'Antiquarium, avec départ depuis le Palais pontifical. Depuis 2024, il est également possible d'y accéder sans guide officiel, à condition d'être accompagné par du personnel accrédité ou par un astronome de la Specola, rendant ainsi l'expérience plus souple et personnalisée.

Depuis 2024 également, des visites publiques des télescopes « Carte du Ciel » et Schmidt présents dans les Coupoles Barberini sont organisées : des groupes allant jusqu'à 25 personnes, cinq jours par mois, à l'approche du Premier Quartier de Lune. Des observations en soirée sous les étoiles, guidées par des astronomes autorisés, ont aussi été introduites et rencontrent un succès croissant.

Le 19 octobre 2024 a marqué une autre étape importante : l'ouverture au public des Coupoles astronomiques du Palais pontifical. Au cours des premiers mois de 2025, plus de 7.000 visiteurs ont été enregistrés, s'ajoutant aux 1.880 de l'année 2024. Les visites consacrées exclusivement à la Spe-

cola montrent également une croissance constante : de 225 visiteurs en 2023 à 447 en 2024, jusqu'à 332 au cours des premiers mois de 2025.

Dans le cadre de l'année jubilaire, la Specola Vaticana, en collaboration avec la Johns Hopkins University et le Space Telescope Science Institute (STScI), a organisé une exposition intitulée « Enchantés par la merveille », présentée dans les Coupoles Barberini des Villas pontificales. Celle-ci célèbre l'émerveillement suscité par les images du cosmos capturées par les télescopes spatiaux Hubble Space Telescope et James Webb Space Telescope. Reprenant les paroles du Pape Léon XIV, l'exposition unit beauté et connaissance scientifique, en montrant des planètes, des étoiles en formation, des galaxies lointaines et des phénomènes spectaculaires qui révèlent l'évolution de l'univers. Le parcours, enrichi par les contributions de scientifiques de la Johns Hopkins University et du Space Telescope Science Institute, accompagne les visiteurs dans un voyage à travers les découvertes rendues possibles par ces instruments extraordinaires. L'exposition constitue une attraction supplémentaire dans l'expérience offerte aux visiteurs à Castel Gandolfo.

Ce parcours d'ouverture et d'accueil est le fruit d'un travail collectif. La synergie avec la Direction des Musées du Vatican s'est révélée essentielle pour rendre les itinéraires de visite opérationnels et accessibles, tout en garantissant sécurité, qualité et rigueur scientifique.

Aujourd'hui, la Specola Vaticana continue d'être non seulement un observatoire scientifique de renommée internationale, mais aussi un lieu où la connaissance se conjugue avec la formation, l'émerveillement et la rencontre entre personnes et cultures. Sous ses coupoles, le ciel continue d'offrir aux étudiants, aux chercheurs, aux religieux et aux pèlerins une expérience unique, où science, foi et beauté se rencontrent de manière harmonieuse et profonde.



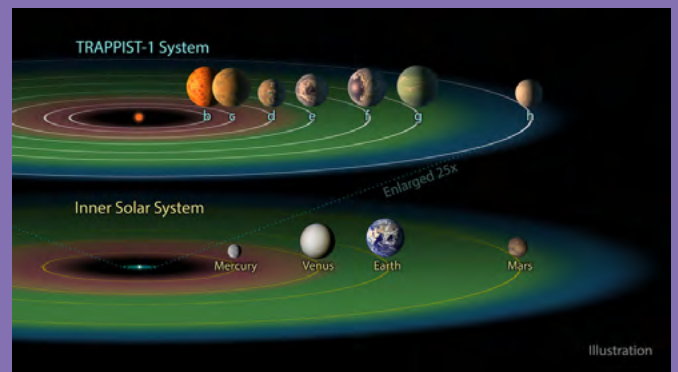
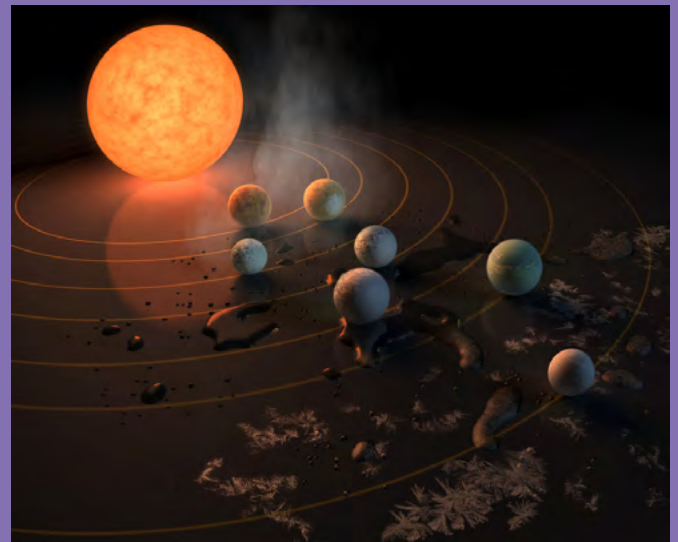
EXOPLANÈTES : SOMMES-NOUS SEULS DANS L'UNIVERS ?



P. Richard D'Souza, SJ
Directeur de la Specola Vaticana

Les êtres humains ont toujours été fascinés par trois questions fondamentales : **d'où venons-nous ? Où allons-nous ? Sommes-nous seuls dans l'Univers ?** Avec le développement de l'astronomie moderne, cette dernière question est passée du statut d'interrogation ancienne à celui de l'une des recherches les plus pressantes de la science. Pendant la majeure partie de l'histoire humaine, les planètes de notre système solaire étaient les seules mondes que nous connaissions. Mais plus elles étaient étudiées attentivement, plus il devenait clair qu'aucune d'entre elles ne pouvait actuellement accueillir la vie. Depuis des décennies, la Recherche d'Intelligence Extraterrestre (SETI, en anglais) scrute le ciel à la recherche de signaux radio inhabituels qui pourraient trahir l'existence d'une civilisation technologique ailleurs, mais jusqu'à présent sans succès. Entre-temps, la question de savoir si d'autres étoiles possédaient leurs propres planètes demeurerait purement philosophique : une question de spéculation plutôt que de science. Cela a changé radicalement en 1992, lorsque les astronomes ont détecté les premières exoplanètes confirmées en orbite autour d'un pulsar, puis de nouveau en 1995, lorsque Michel Mayor et Didier Queloz ont découvert la première planète en orbite autour d'une étoile semblable au Soleil, 51 Pegasi b — une étape historique qui leur valut le prix Nobel de physique en 2019. Queloz a également été enseignant dans l'une des écoles d'été de la Specola Vaticana, un lien approprié étant donné la profondeur des questions rouvertes par leur découverte. Depuis cette date, les digues ont cédé : nous savons désormais que les planètes ne sont pas de rares accidents cosmiques, mais plutôt une caractéristique presque universelle des étoiles. Les scientifiques estiment que dans notre seule galaxie, il existe des milliards et des milliards de mondes qui attendent d'être compris.

Les astronomes utilisent plusieurs **techniques ingénieuses** pour détecter les exoplanètes, car ces mondes lointains sont trop petits et trop faibles pour être observés directement à l'aide d'un télescope. La méthode la plus efficace est la **méthode du transit**, dans laquelle les scientifiques surveillent la luminosité d'une étoile au fil du temps et recherchent de très faibles diminutions périodiques qui se produisent lorsqu'une planète passe devant elle. C'est



TRAPPIST-1 System								Solar System			
	b	c	d	e	f	g	h		Mercury	Venus	Earth
Orbital Period	1.51 days	2.42 days	4.05 days	6.10 days	9.21 days	12.35 days	~20 days		87.97 days	224.70 days	365.26 days
Distance to Star	0.011 AU	0.015 AU	0.021 AU	0.028 AU	0.037 AU	0.045 AU	~0.06 AU		0.387 AU	0.723 AU	1.000 AU
Planet Radius	1.09 R _{Earth}	1.06 R _{Earth}	0.77 R _{Earth}	0.92 R _{Earth}	1.04 R _{Earth}	1.13 R _{Earth}	0.76 R _{Earth}		0.38 R _{Earth}	0.95 R _{Earth}	1.00 R _{Earth}
Planet Mass	0.85 M _{Earth}	1.38 M _{Earth}	0.41 M _{Earth}	0.62 M _{Earth}	0.68 M _{Earth}	1.34 M _{Earth}	~		0.06 M _{Earth}	0.82 M _{Earth}	1.00 M _{Earth}

ainsi que les missions de la NASA, Kepler et TESS ont découvert des milliers de mondes. Une autre approche puissante est la **méthode de la vitesse radiale**, qui détecte le subtil « balancement » gravitationnel qu'une planète induit sur son étoile hôte. Lorsque la planète orbite, elle tire l'étoile légèrement vers la Terre puis s'en éloigne, provoquant des décalages mesurables dans le spectre lumineux

de l'étoile. La technique du **microlentillage gravitationnel** observe comment la lumière d'une étoile lointaine s'intensifie brièvement lorsqu'une étoile possédant une planète passe devant elle, courbant et amplifiant la lumière comme une lentille. Enfin, l'**observation directe** — bien qu'extrêmement difficile — utilise de puissants télescopes équipés de coronographes pour bloquer l'éclat d'une étoile et photographier directement les planètes en orbite. Cette méthode fonctionne surtout pour les planètes grandes et jeunes situées loin de leur étoile. Nous connaissons aujourd'hui plus de 6.000 exoplanètes confirmées, avec des milliers de candidates en attente de vérification, révélant une diversité étonnante parmi ces mondes.

La diversité remarquable des exoplanètes a bouleversé nos hypothèses sur l'apparence des systèmes planétaires. Avant les premières découvertes, les astronomes s'attendaient à ce que les autres systèmes ressemblent au nôtre : de petits mondes rocheux proches de leur étoile, des géantes gazeuses plus éloignées, le tout organisé de manière régulière et bien espacée. La réalité s'est révélée bien plus étrange. Nous avons découvert des « Jupiters chauds », des géantes gazeuses qui orbitent si près de leur étoile qu'une année n'y dure que quelques jours et que les températures de surface atteignent des milliers de degrés. Nous avons également découvert des « super-Terres », des mondes rocheux plus grands que le nôtre, mais plus petits que Neptune, une catégorie de planètes qui n'existe même pas dans notre propre système solaire. Enfin, nous avons trouvé des planètes orbitant autour d'étoiles binaires — de véritables Tatooine, où deux soleils se couchent à l'horizon.

La découverte qui attire le plus l'attention du public est la possibilité d'une planète semblable à la Terre située dans la zone habitable de son étoile. La zone habitable d'une étoile correspond à l'intervalle de distances orbitales dans lequel une planète pourrait théoriquement maintenir de l'eau liquide à sa surface — pas assez chaude pour que l'eau s'évapore, ni assez froide pour qu'elle gèle. Cette zone n'est pas une distance fixe : elle varie en fonction de la taille, de la température et de la luminosité de l'étoile hôte. Autour d'une petite étoile naine rouge relativement froide, la zone habitable se trouve très près de l'étoile, parfois à seulement une fraction de la distance entre la Terre et le Soleil. En revanche, autour d'une étoile plus grande et plus chaude, comme une étoile de type F, elle s'étend beaucoup plus loin.

La zone habitable de notre Soleil s'étend approximativement de 0,95 à 1,67 fois la distance Terre-Soleil, ce qui place confortablement la Terre à l'intérieur de cette région et situe Mars tout près de sa limite externe, ce qui est particulièrement intéressant. Plusieurs candidats prometteurs

d'exoplanètes semblables à la Terre dans la zone habitable ont déjà été identifiés. Le système TRAPPIST-1, situé à seulement environ 40 années-lumière, contient sept planètes de taille approximativement terrestre, dont trois se trouvent dans la zone habitable.

Cependant, les scientifiques soulignent avec prudence que se trouver dans la zone habitable est une condition nécessaire mais non suffisante pour la vie : une planète doit également posséder la bonne composition atmosphérique, une activité géologique, un champ magnétique et d'autres facteurs pour être réellement hospitalière. Proxima Centauri b, qui orbite autour de notre étoile voisine la plus proche, se situe dans la zone habitable de cette étoile, bien que les violentes éruptions de l'étoile hôte puissent rendre les conditions potentiellement hostiles à la vie.

Trouver une planète de la bonne taille, sur la bonne orbite, autour du bon type d'étoile, n'est que le début. Le défi suivant consiste à comprendre à quoi ressemblent réellement ces mondes : s'ils possèdent des atmosphères, de quoi ces atmosphères sont composées et si les conditions nécessaires à la vie telle que nous la connaissons pourraient y exister. Le défi est immense : les atmosphères des exoplanètes produisent des signaux incroyablement faibles, enfouis dans la lumière écrasante de leurs étoiles hôtes. Mais les observatoires et les missions spatiales de nouvelle génération repoussent constamment les limites de ce qui est détectable, conservant la fascinante possibilité de découvrir la vie au-delà de la Terre solidement ancrée dans le domaine de la science.

Ces dernières années, les astronomes ont développé plusieurs stratégies prometteuses pour rechercher des biosignatures dans l'atmosphère d'une exoplanète. L'approche principale consiste à analyser la composition atmosphérique des exoplanètes grâce à une technique appelée **spectroscopie de transmission**. Dans cette méthode, les scientifiques étudient la manière dont la lumière d'une étoile traverse l'atmosphère d'une planète lors d'un transit. Différentes molécules absorbent la lumière à des longueurs d'onde spécifiques, laissant une empreinte chimique que des télescopes puissants comme le James Webb Space Telescope (JWST) peuvent décoder. Les scientifiques recherchent en particulier des **biosignatures**, c'est-à-dire des indices chimiques fortement associés à des processus biologiques, tels que l'oxygène, l'ozone, le méthane et le protoxyde d'azote. La présence simultanée d'oxygène et de méthane est particulièrement enthousiasmante, car ces gaz réagissent entre eux et disparaîtraient rapidement sans une source biologique constante pour les renouveler. Au-delà de la chimie atmosphérique, les chercheurs recherchent également des **biosignatures de sur-**

face, comme le « red edge » — une forte augmentation de la réflectance dans l'infrarouge, caractéristique de la végétation photosynthétique sur la Terre et potentiellement détectable sur d'autres mondes.

À ce jour, aucune biosignature confirmée n'a été trouvée sur des exoplanètes. Mais les progrès technologiques et la nouvelle génération de télescopes spatiaux prévus rendent très probable que, dans les prochaines années, les scientifiques puissent détecter des signes indirects de vie sur d'autres planètes. Il est important de rappeler que l'on ne parle pas ici de vie intelligente, mais de l'existence de formes de vie basiques — y compris des virus, des bactéries, des champignons et d'autres formes de vie élémentaires. Cependant, les conséquences d'une telle découverte seraient considérables.

La découverte de telles formes de vie basiques sur une autre planète serait probablement l'un des événements théologiques et philosophiques les plus profonds de l'histoire humaine, obligeant chaque grande tradition religieuse à se confronter à des questions que leurs textes anciens et leurs doctrines n'avaient jamais explicitement envisagées.

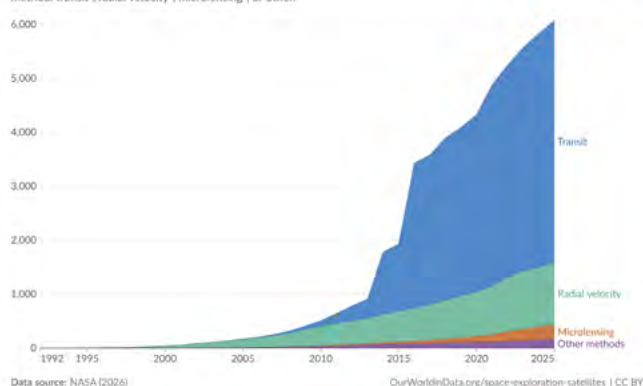
Pour de nombreux chrétiens, en particulier ceux issus de traditions plus littéralistes, le défi serait considérable : si l'humanité est créée à l'image de Dieu et que la Terre est la scène divinement désignée pour l'histoire du salut, où s'insérerait la vie extraterrestre dans cette narration ? Cependant, de nombreux théologiens catholiques ont déjà commencé à réfléchir à cette possibilité, soutenant qu'un cosmos vaste et peuplé de vie magnifierait, plutôt qu'il ne diminuerait, la gloire d'un Dieu créateur, reflétant une créativité et une générosité divines s'étendant bien au-delà de notre petit coin de l'univers. L'Académie pontificale des Sciences, en collaboration avec la Specola Vaticana, a organisé l'un de ses premiers ateliers sur l'astrobiologie dès 2009, se confrontant à ces questions. Dans une interview accordée au cours de la même année à *L'Osservatore Romano*, le P. Jose Funes SJ, alors directeur de la Specola, a réaffirmé : « *Je pense qu'il n'y a aucune contradiction. Tout comme il existe une multitude de créatures sur la Terre, il pourrait y avoir d'autres êtres, même intelligents, créés par Dieu... Cela n'est pas en contradiction avec notre foi, car nous ne pouvons pas imposer de limites à la liberté créatrice de Dieu. Pour reprendre les mots de saint François, si nous pouvons considérer certaines créatures terrestres comme des "frères" ou des "sœurs", pourquoi ne pourrions-nous pas parler d'un "frère extraterrestre" ? Lui aussi appartiendrait à la création* ». En définitive, la découverte de la vie au-delà de la Terre ne détruirait pas nécessairement la religion, mais constituerait certainement

l'une des plus grandes périodes de réexamen théologique et de réinterprétation depuis que Copernic a déplacé la Terre du centre du cosmos, invitant les croyants du monde entier à élargir leur conception du sacré pour embrasser un univers beaucoup plus vaste et merveilleux que celui que leurs traditions avaient jusque-là imaginé.

Cependant, la science des exoplanètes est déjà en train de provoquer une révolution plus proche de nous : elle a remodelé notre compréhension de la Terre elle-même. Notre planète n'est pas le résultat inévitable d'un quelconque modèle cosmique : elle est l'un des résultats d'un éventail presque inimaginable de possibilités. Certains systèmes planétaires sont anciens, leurs mondes ont bénéficié de milliards d'années supplémentaires pour évoluer par rapport au nôtre. D'autres orbitent dans des configurations si chaotiques que des orbites stables — et encore moins la vie — semblent impossibles. L'ère des exoplanètes n'a commencé que depuis quelques décennies et déjà l'univers apparaît beaucoup plus peuplé — et beaucoup plus fascinant — qu'il ne l'était auparavant. La question n'est plus de savoir si d'autres planètes existent. La question, toujours plus proche d'une réponse, est de savoir si l'une d'elles abrite la vie et si cette vie nous observe à son tour.

Cumulative number of exoplanets discovered, by method

Cumulative number of planets discovered outside the Solar System, broken down by their first identification method: transit¹, radial velocity², microlensing³, or other.



1. **Transit method** The transit method detects exoplanets by observing the dimming of a star as an orbiting planet passes between the star and the observer. This transit results in a periodic and slight dip in the star's brightness, which can be measured to infer the planet's presence, size, and orbit.
2. **Radial velocity method** Also known as Doppler spectroscopy, the radial velocity method measures changes in the star's spectrum due to the gravitational pull of an orbiting planet. As the planet orbits, it causes the star to move in a small orbit in response, which leads to slight shifts in the star's spectral lines due to the Doppler effect. These shifts can reveal the presence of a planet and provide information about its mass and orbit.
3. **Microlensing method** Gravitational microlensing occurs when the gravitational field of a star (and potentially its planet) acts as a lens, magnifying the light of a background star that happens to pass behind it from the observer's perspective. The presence of a planet can be detected through the specific characteristics of the light curve produced by this event.

