

N° 2 Août 2023

L'ALPHA

L'ACTUALITÉ DE L'OBSERVATOIRE

Les débris spatiaux

Splendeurs et défis de
l'exploration spatiale



Association
des Amis
de l'OFXB



L'ALPHA fait référence à la constellation Alpha Tauri, la constellation du Taureau, animal-symbole de l'évangéliste St-Luc.

Sommaire

- 02 | LE MOT DU PRÉSIDENT
- 03 | LA MUSIQUE RENCONTRE LES ÉTOILES
PAR LAURENT D'ALVISE
- 04 | SPUTNIK & LA NAISSANCE DE L'EXPLORATION SPATIALE
PAR AGNES ET THIBAUT BRIDEL-BERTOMEU, RE CAE
- 10 | HARMONIES CÉLESTES : L'INTERCONNEXION INTEMPORELLE ENTRE LA MUSIQUE ET L'ASTRONOMIE
PAR MATILDE FASSÒ

Le mot du président

L'OFXB c'est 4000 visiteurs par an



LAURENT D'ALVISE

Il y a des familles, des écoles, des individuels qui explorent le ciel depuis son promontoire grâce à ses médiateurs scientifiques. C'est 28 ans d'âge pour des installations qui ont récemment connu un rajeunissement grâce à l'automatisation de la coupole. Et il faut d'ailleurs mentionner que l'OFXB gagne de plus en plus de visiteurs spécialisés qui exploitent ses installations à distance, à la faveur d'une simple connexion internet, prenant le contrôle de sa coupole depuis n'importe quel endroit sur Terre. Ils viennent pour la qualité du ciel, le temps clément et le matériel performant qui est mis à leur disposition.

La dynamique de l'OFXB s'articule donc autour de deux axes : développer toujours plus l'attrait à destination du grand public mais également ouvrir les portes toutes grandes aux professionnels, chercheurs et scientifiques.

C'est dans ce contexte que l'OFXB a initié une collaboration technique avec la jeune startup Re CAE. Pour vous en informer, ce second numéro de L'Alpha lui donne la parole. Les deux fondateurs de Re CAE nous entretiennent en effet de la problématique croissante du nombre de débris spatiaux, des risques majeurs qui y sont liés et des solutions à notre disposition pour relever un défi situé à l'échelle de l'humanité. Cette collaboration ambitionne en outre de placer l'OFXB sur l'échiquier des Observatoires « chasseurs de débris ».

Mais L'Alpha, c'est aussi un rassemblement éphémère de compétences et de passions. Et à ce titre, parmi nos auteurs, nous avons la chance d'accueillir dans ce numéro un membre du Grand Théâtre de Genève qui nous contera les liens profonds entre l'astronomie et la musique.

Nous espérons que ce numéro saura non seulement vous informer, mais également éveiller en vous une curiosité renouvelée pour les merveilles qui nous entourent. ●

POINT DE CONVERGENCE

La musique rencontre les étoiles

Dans le vaste univers de la musique classique, Alejo Pérez – directeur musical de l’Opéra des Flandres en Belgique – est une étoile qui brille particulièrement.

PAR LAURENT D’ALVISE

Chef d’orchestre reconnu pour sa précision, son énergie et son talent, Pérez a dirigé d’innombrables orchestres à travers le monde. Mais ce que beaucoup ignorent, c’est que sa passion pour la musique n’est égalée que par son amour pour l’astronomie.



ALEJO PÉREZ

AAOFXB

En mai dernier, le célèbre maestro a honoré l’Observatoire François-Xavier Bagnoud de sa visite, laissant derrière lui les salles de concert pour se plonger dans l’immensité de l’univers. Pour Pérez, l’astronomie n’est pas seulement un passe-temps, mais une véritable passion. Depuis son plus jeune âge, il a été fasciné par les étoiles, la Voie lactée et les mystères de l’univers. Cette passion, selon lui, se reflète également dans sa musique. Il parle souvent de la façon dont la musique et l’astronomie sont liées par des rythmes, des harmonies et des mouvements qui, bien que différents dans leur forme, sont unis dans leur essence.

Sa visite à l’OAFXB n’était pas seulement une escapade personnelle, mais aussi une opportunité d’intégrer deux mondes qui lui sont chers. Sous la voûte étoilée, Pérez a partagé avec l’équipe de l’Observatoire sa vision de la musique et de l’univers, créant ainsi un mélange harmonieux de science, d’art et de passion.

Alors que la musique d’Alejo Pérez continuera de résonner dans les salles de concert du monde entier, sa visite restera gravée dans la mémoire de tous ceux qui ont eu la chance de le rencontrer. Une preuve vivante que les étoiles peuvent briller aussi bien dans le ciel que sur la scène. ●

Sputnik & la naissance de l'exploration spatiale

Lorsque Sputnik 1 a été lancé en orbite en octobre 1957, il est devenu le premier objet fabriqué par l'homme à s'aventurer au-delà de l'atmosphère terrestre.

PAR AGNES BRIDEL-BERTOMEU ET THIBAUT BRIDEL-BERTOMEU, RE CAE

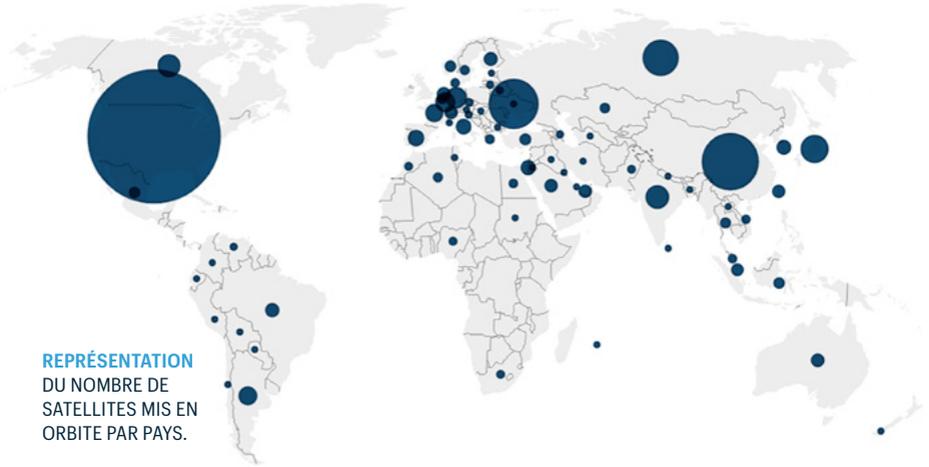
La réception et la détection du fameux signal «bip... bip... bip» de Sputnik par des radioamateurs du monde entier ont marqué un tournant dans l'inauguration de l'ère spatiale. Cet événement a symbolisé la première réussite de l'ingénierie télécom moderne, annonçant l'émergence de systèmes de communication basés sur des satellites qui ont depuis révolutionné la connectivité mondiale. Les satellites ont connu des développements significatifs en termes de conception, de fonctionnalité, de capacités et d'applications. Sputnik était équipé d'un émetteur radio basique pour diffuser des signaux et collecter des données telles que la température et la pression. Dans les années 1960, les scientifiques ont découvert le concept d'orbites géostationnaires (GEO), à l'altitude desquelles

les satellites orbitent la Terre avec une période égale à une journée, restant ainsi stationnaires par rapport à un emplacement spécifique au sol et permettant des communications longue distance, la surveillance météorologique et des services de diffusion. Depuis les années 1970, des avancées significatives ont été réalisées, avec notamment l'avènement de satellites intégrant des systèmes d'imagerie avancés pour collecter des données inestimables pour la recherche scientifique, ainsi que le développement du système de positionnement global (GPS) introduisant dans l'espace terrestre une constellation de satellites dédiés à la position et à la navigation. L'essor des constellations de satellites, telles que Starlink de SpaceX, a ouvert une nouvelle ère d'interconnectivité mondiale.

La carte du monde ci-après montre la répartition de la propriété des satellites, reflétant le caractère mondial de l'exploration et de la communication spatiales. Cette carte du monde complexe témoigne des progrès scientifiques, des avancées technologiques et de la coopération internationale qui définissent les efforts de l'humanité dans la course à l'espace.



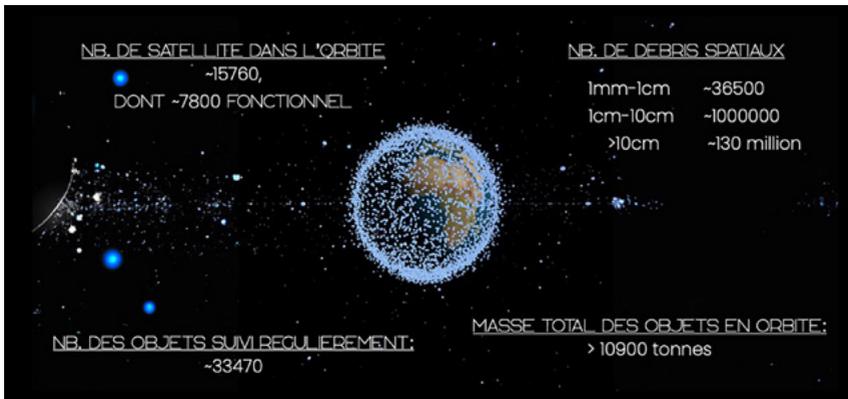
SPUTNIK 1, PREMIER SATELLITE ARTIFICIEL DE LA TERRE.



Splendeurs et défis de l'exploration spatiale

Parallèlement à ces réalisations, la prolifération des satellites a conduit à une préoccupation croissante : les débris spatiaux. Les débris spatiaux font référence aux objets fabriqués par l'homme qui ne sont plus fonctionnels ou opérationnels et qui occupent toujours l'orbite terrestre. Cela inclut les satellites hors d'usage, les étages

de fusées usagés, les fragments issus de collisions de vaisseaux spatiaux et d'autres matériaux abandonnés. Ces objets varient en taille, des petites éclaboussures de peinture séchée et des boulons aux pièces plus grandes comme des satellites hors d'usage. La dernière mise à jour de l'Agence Spatiale Européenne¹ révèle, ci-dessous, les statistiques suivantes sur l'environnement spatial actuel.



EXTRAIT DE « HOROS BY RE CAE » (DISPONIBLE SUR IOS) MONTRANT DES SATELLITES ET DES DÉBRIS EN ORBITE.

Principaux événements créateurs de débris

11 janvier 2007

La destruction délibérée du satellite météorologique chinois Fengyun-1C a créé environ 300 000 objets de 1 cm ou plus, provoquant l'un des pires événements dans l'augmentation de la population de débris spatiaux.

10 février 2009

La collision des satellites Iridium 33 et Cosmos 2251 a marqué la première collision accidentelle de deux grands objets spatiaux, dont l'un était un satellite actif. La collision a créé environ 200 000 objets de 1 cm ou plus.

15 novembre 2021

La destruction délibérée du satellite militaire russe Cosmos 1408 hors d'usage est devenue le plus récent événement majeur créateur de débris, créant environ 100 000 objets qui restent en orbite.

« A 1 kg object impacting at 10 km/s, for example, is probably capable of catastrophically breaking up a 1,000 kg spacecraft if it strikes a high-density element in the spacecraft. In such a breakup, numerous fragments larger than 1 kg would be created. »



GLEGHORN, GEORGE;
ET AL. (1995). ORBITAL
DEBRIS : A TECHNICAL
ASSESSMENT



ISTOCK

Directives et atténuation des débris spatiaux

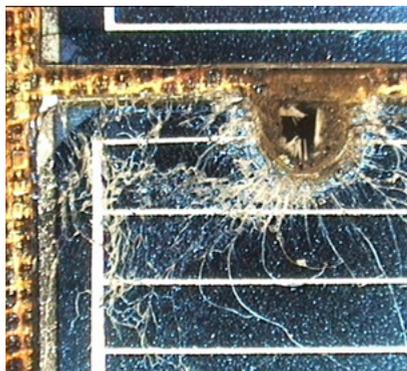
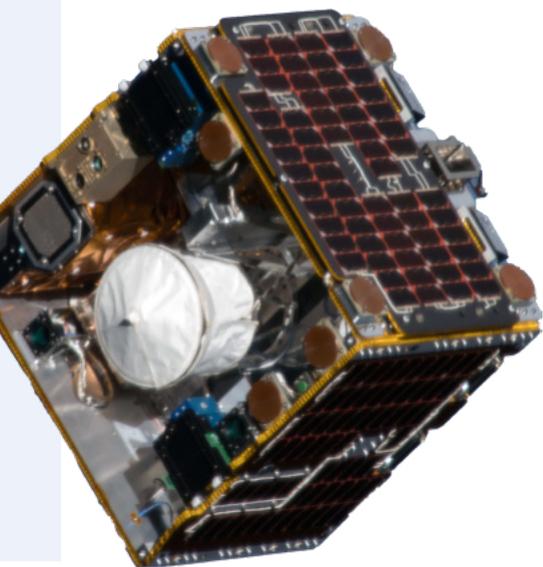
Des mesures efficaces et des directives sont cruciales, et la résolution du problème des débris spatiaux nécessite une coopération internationale et l'élaboration de directives et de bonnes pratiques. Les directives sur les débris spatiaux servent de cadre pour guider les acteurs spatiaux dans la conduite des opérations spatiales de manière à minimiser la création de débris spatiaux afin de promouvoir la durabilité à long terme des activités spatiales. Voici quelques aspects clés de la stratégie de réponse :

- 1. Partage de données et coopération :** des stratégies telles que la Space Situational Awareness (SSA) font référence à la connaissance et à la compréhension complètes de l'environnement spatial, y compris les positions, les trajectoires et les caractéristiques des objets naturels et artificiels dans l'espace. La SSA implique la surveillance et le suivi des satellites, des débris spatiaux et d'autres corps célestes pour évaluer leur comportement, prédire les collisions potentielles et identifier les risques pour les actifs spatiaux. En utilisant divers capteurs au sol et dans l'espace, des systèmes radar, des télescopes et des techniques d'analyse de données, la SSA permet aux agences spatiales et aux organisations de recueillir des informations cruciales sur l'environnement spatial et de prendre des décisions éclairées concernant les opérations de satellites, les manœuvres d'évitement de collision et la planification de missions.
- 2. Conception et fonctionnement des engins spatiaux :** les directives soulignent l'importance de concevoir des engins spatiaux de manière à minimiser la création de débris spatiaux après la fin de leur mission. Cela comprend l'utilisation de matériaux moins susceptibles de se fragmenter, la mise en œuvre d'un blindage efficace, et la conception de satellites et d'étages de fusées avec des mécanismes de rentrée ou d'élimination contrôlés et prévisibles.
- 3. Élimination en fin de vie :** l'adoption de pratiques d'élimination appropriées en fin de vie garantit que les satellites et les engins spatiaux sont retirés des orbites opérationnelles à la fin de leurs missions. Cela peut impliquer d'effectuer des manœuvres pour abaisser l'orbite de l'engin spatial, conduisant à une rentrée atmosphérique naturelle, ou de désorbiter activement l'engin spatial dans une orbite « cimetière » désignée ou une trajectoire de rentrée contrôlée.
- 4. Activité de remédiation :** cette activité vise à réduire le risque des débris existants, soit en retirant les débris de l'orbite, soit en changeant la trajectoire des débris. En 2023, aucune activité de remédiation n'est opérationnelle, cependant, plusieurs acteurs explorent la viabilité technologique avec des missions de démonstration. La mission RemoveDEBRIS en 2019 a été la première mission à démontrer avec succès différentes technologies pour l'élimination des débris en orbite. Les missions consistaient en une plateforme de minisatellite qui hébergeait 4 démonstrateurs technologiques : un filet déployable, un système de navigation basé sur la vision par ordinateur, un harpon spatial et une voile aérofrein.

La prolifération des débris spatiaux augmente la probabilité de collisions et d'interférences, soulevant de sérieuses inquiétudes quant à la durabilité à long terme des activités spatiales. La collision de débris spatiaux avec des satellites opérationnels ou des vaisseaux spatiaux peut entraîner des dommages catastrophiques ou même l'échec d'une mission. Résultat, les satellites doivent s'écarter en permanence de la trajectoire des débris ! Depuis 1999, la Station Spatiale Internationale à elle seule a dû effectuer 25 manœuvres d'évitement de débris sans lesquelles l'intégrité de la station aurait été mise en question.

Ce ne sont là que quelques-uns des nombreux événements significatifs entraînant des augmentations spectaculaires de la population de débris

🔗 **REMOVEDEBRIS** LE SATELLITE EXPÉRIMENTAL DE L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE DESTINÉ À TESTER PLUSIEURS TECHNIQUES DE COLLECTE ET DE RETRAIT DES DÉBRIS SPATIAUX.



EUROPEAN SPACE AGENCY

🔗 **DOMMAGES** CAUSÉS PAR L'IMPACT DE DÉBRIS SPATIAUX SUR LA CELLULE SOLAIRE DE HUBBLE.

spatiaux. Un scénario hypothétique proposé par le scientifique de la NASA Donald Kessler en 1978 — le syndrome de Kessler décrit une réaction en chaîne potentielle de collisions parmi les débris spatiaux en orbite terrestre, créant un cycle d'auto-entretien de collisions et de génération de débris !

Vers un accès durable à l'espace terrestre

En conclusion, alors que l'exploration spatiale continue de progresser, il est impératif de prendre des mesures pour garantir la durabilité de l'environnement spatial. Les débris spatiaux représentent un défi majeur, et la mise en œuvre de directives, de meilleures pratiques et de technologies innovantes est essentielle pour minimiser les risques et promouvoir un espace sûr et durable pour les générations futures. 🌐

[1] Rapport sur l'environnement des débris spatiaux publié par le bureau des débris spatiaux de l'ESA, <https://sdup.esoc.esa.int/discosweb/statistics/>

Harmonies Célestes : L'interconnexion intemporelle entre la musique et l'astronomie

MATILDE FASSÒ, ASSISTANTE DE PRODUCTION
ARTISTIQUE AU GRAND THÉÂTRE DE GENÈVE.

ÉPISODE 1 : Kepler et l'écho pythagoricien : un concert céleste entre Musique et Astronomie



P. BILLER - ARTE.TV

« Les mouvements célestes sont une symphonie perpétuelle à plusieurs voix. » Aussi étonnant que cela puisse paraître, ces mots proviennent bien de la plume de Johannes Kepler, figure emblématique de la révolution scientifique, mondialement connu pour ses trois lois révolutionnaires sur les mouvements planétaires. N'est-il pas surprenant de découvrir que dans son œuvre majeure, « Harmonices Mundi » (L'Harmonie des Mondes, 1619), Kepler consacre l'intégralité du dernier chapitre au chant des planètes qui se dégage lors de leur révolution autour du Soleil ? En réalité, Kepler s'inscrit naturellement ici dans la lignée d'une longue tradition millénaire qui relie la musique à l'astronomie, une tradition qui s'est élargie et enrichie au fil des siècles et dont il incarne l'un des derniers héritiers. La thématique fascinante de la Musique des Sphères trouve son origine dans l'Antiquité et est représentative de la fascination qu'a toujours exercée sur l'homme l'observation du ciel et sa tentative d'en

déchiffrer les mystères. De cette quête sont nés des liens inattendus entre la musique et l'astronomie, une tradition qui trouve son origine en Grèce vers le VI^e siècle av. J.-C. au sein de l'école de Crotona fondée par Pythagore.

Je vous propose d'embarquer pour un voyage à travers le temps dans cette série de quatre épisodes consacrée au thème fascinant de la musique céleste ! Découvrons ensemble ses origines et explorons comment les connexions surprenantes et inattendues entre musique et astronomie ont influencé notre compréhension du cosmos jusqu'à nos jours !

Pythagore : l'origine de l'Harmonie des Sphères

Mathématicien, philosophe et astronome, Pythagore (569-475 av. J.-C.), était convaincu que tout dans l'univers obéissait à une structure harmonieuse basée sur les nombres et leurs rapports arithmétiques et géométriques. De l'Antiquité à la fin du Moyen Âge, l'étrange trio formé par la musique, les mathématiques et l'astronomie a toujours été perçu comme étant intimement lié. Ces disciplines, qui pourraient sembler si dissemblables à première vue, ont finalement trouvé leur place côte à côte au sein du Quadrivium. Ce prestigieux quatuor académique



ADOBEE STOCK

• JOHANNES KEPLER
et une édition de son
Harmonices Mundi.

-arithmétique, géométrie, astronomie et musique – établissait les fondations de l'enseignement scolastique médiéval. Précisément sous cet angle, pour les pythagoriciens, la musique incarnait une manifestation pure des rapports mathématiques, reflet à son tour de l'organisation cosmique.

Selon une légende rapportée par Nicomaque de Gérase, fidèle disciple de Pythagore, ce dernier aurait, en passant à proximité d'une forge, été captivé par les sons émis par des forgerons maniant des marteaux de poids variés. En étudiant attentivement la séquence numérique représentative des masses des marteaux (6, 8, 9, 12), Pythagore aurait mis à jour la relation singulière qui existe entre des rapports arithmétiques de nombres entiers et les intervalles harmonieux de l'octave (au rapport $1/2$), de la quinte (au rapport $2/3$) et de la quarte (au rapport $3/4$). Si cette histoire charme par son pittoresque, il semble cependant bien plus vraisemblable que Pythagore ait obtenu cette révélation lumineuse grâce à des expériences avec une corde vibrante, utilisant un monocorde. Ces intervalles de quarte, quinte et octave résonnaient particulièrement chez Pythagore, car ils constituaient la charpente du système musical grec fondé autour du tétracorde (une succession de quatre notes conjointes). La combinaison de deux tétracordes disjoints séparés par un ton engendrait l'octave qui contenant à son tour les 7 notes de la gamme pythagoricienne.

Ainsi, ces intervalles perçus comme agréables à l'oreille et émanant de ratios arithmétiques simples, symbolisaient pour Pythagore l'expression d'une vérité plus profonde se reflétant dans l'organisation harmonieuse de l'univers lui-même.

● **PYTHAGORE** en pleine expérimentation avec divers instruments de musique, cherchant les rapports arithmétiques sous-tendant les intervalles consonants de quarte quinte et octave.

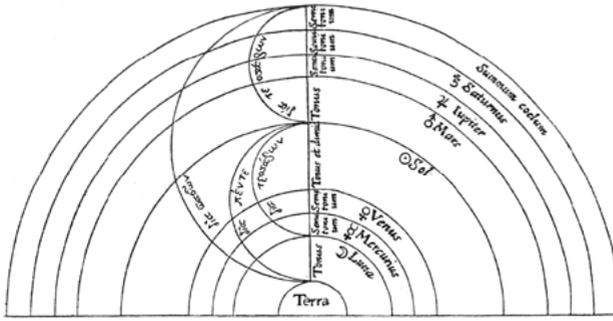


THEORICA MUSICAE (1492) DE FRANCHINO GAFFURIUS (1451-1522)

Cosmogonie musicale de Pythagore : Les 7 astres errants et les Étoiles Fixes

Au temps de Pythagore, on distinguait dans le ciel sept astres « errants » : les cinq planètes connues à cette époque – Vénus, Mercure, Mars, Jupiter et Saturne – ainsi que le Soleil et la Lune. On les imaginait fixés sur des sphères en rotation autour d'une Terre immobile située au centre de l'univers. Au-delà de ces sphères, on supposait l'existence d'une sphère d'étoiles fixes, perçues comme immobiles en raison de leur grand éloignement qui rendait la parallaxe indétectable, suggérant qu'elles étaient situées sur un même plan.

Pythagore postulait que chaque sphère en mouvement devait nécessairement émettre un son lors de sa révolution autour de la Terre, un principe qui devait s'appliquer selon lui à tout corps en mouvement. Il soutenait



From Stanley's *The History of Philosophy*.
THE INTERVALS AND HARMONIES OF THE SPHERES.

❖ **ILLUSTRATION** tirée de *The History of Philosophy*, de Thomas Stanley, XVII^e siècle.

que la hauteur du son émis était déterminée par la vitesse de rotation et de sa distance par rapport à la Terre, et que ces rapports correspondaient aux mêmes ratios harmoniques issus de la corde vibrante.

La hauteur des notes attribuée à chaque planète varie considérablement selon les sources, mais une constante demeure : les notes sont assignées selon l'ordre successif des planètes à partir de la Terre, dans une progression diatonique ascendante, correspondant aux notes de deux tétracordes disjoints, avec le Soleil au centre jouant le rôle de la Mèse (la note reliant deux tétracordes). La distance entre la Terre et la Lune représente généralement un ton musical et sert de base pour estimer les autres distances relatives à la Terre. Ainsi, la distance séparant la Terre de la sphère des étoiles fixes équivaut à une octave. En ce qui concerne l'ordre de succession des planètes, elles sont disposées selon un agencement relativement constant (on peut parfois trouver l'ordre entre la Lune, Vénus et Mercure légèrement permuté) qui s'est maintenu pendant plusieurs siècles.

Le fait de pouvoir aligner les sept notes de la gamme pythagoricienne avec les sept astres errants était profondément séduisant pour les pythagoriciens, qui voyaient dans le nombre 7 – nombre premier et impair – des qualités de perfection. Cela ne pouvait pas être une simple coïncidence.

Ainsi, ces huit sphères en mouvement créaient ensemble une harmonie céleste, une « Musique des Sphères », inaudible pour l'oreille humaine, car d'origine divine. Certains philosophes ont même supposé que notre incapacité à entendre cette musique pouvait s'expliquer par le fait que nous y sommes constamment exposés depuis notre naissance, au point de ne plus la percevoir.

Ainsi, en explorant le modèle pythagoricien, nous découvrons un univers où les rapports mathématiques et les harmonies musicales forment les clés de l'ordre cosmique, où chaque sphère céleste joue une note dans le concert de l'univers, composant une symphonie discernable seulement par les plus sages ❶

Mais notre exploration ne fait que commencer!

Dans le prochain épisode de cette série, nous plongerons plus avant dans l'écho pythagoricien, explorant les cosmogonies plus détaillées et visionnaires de ce modèle. Nous naviguerons à travers des théories surprenantes qui ont anticipé des idées scientifiques modernes et qui continuent à résonner à travers les siècles.

