

# **HARMONIES CELESTES**



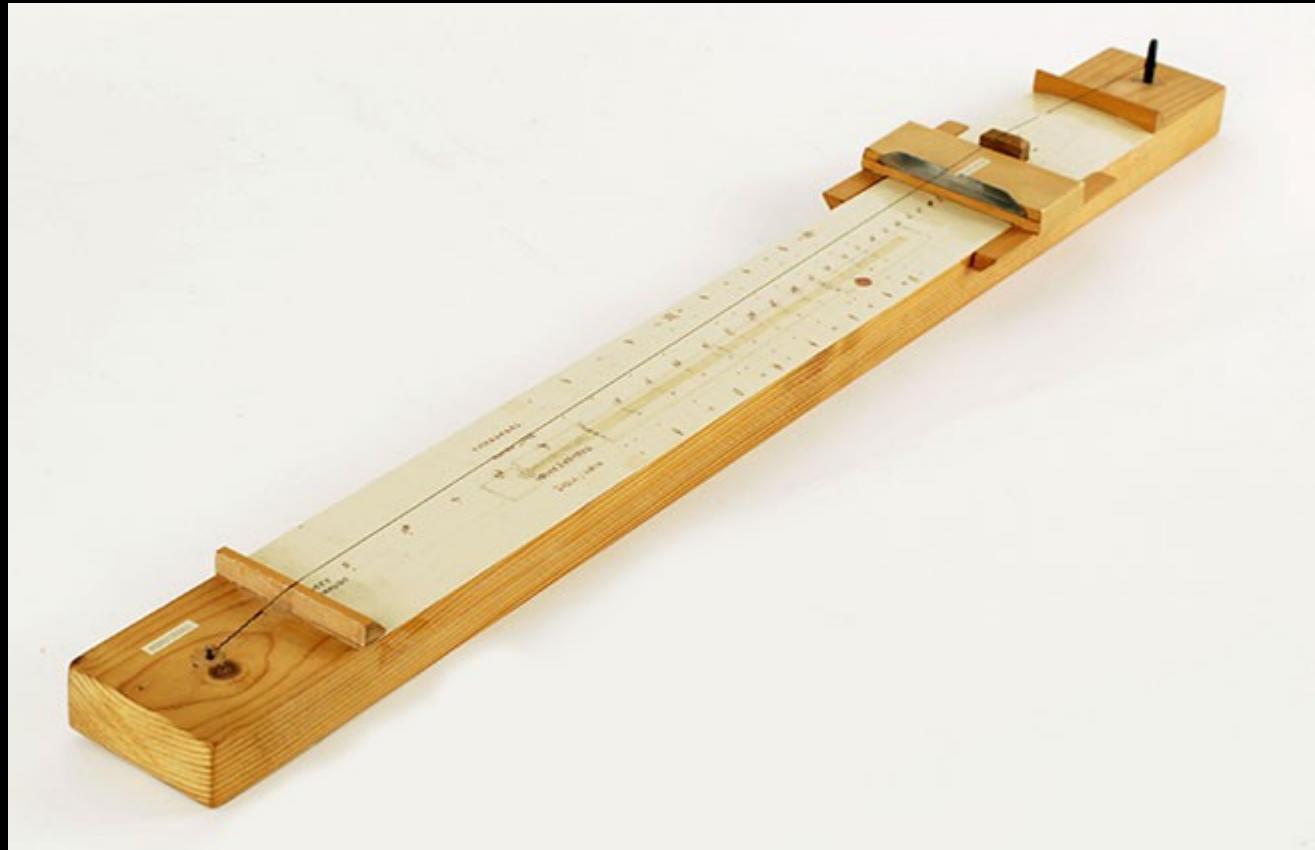
**HARMONIE**

« Pour PYTHAGORE [( $\approx 580-495$  av.n.e.)] et les pythagoriciens, tout est nombre. Il est la matière des êtres, ce qui leur donne forme et les rend intelligibles. Connaître le nombre d'une chose revient à connaître la chose elle-même. Mais il faut s'entendre sur ce que signifie un nombre pour ces mathématiciens grecs. Ils restreignent le terme « nombre » à un entier supérieur à 1 et l'étude des propriétés de ces nombres entiers ainsi que leurs rapports (nombres rationnels) ressortit au domaine de l'arithmétique ... ce sont les nombres entiers qui sont à la racine des choses, le Cosmos est littéralement régi par eux. Et la musique est au cœur de cette représentation. »

<https://edutheque.philharmoniedeparis.fr/pythagore-entendre-les-nombres.aspx>



Pythagore et la Musique, titre des traités ed. Augsbourg, 1500. Gallica-BnF



Monocorde de Nelly van Ree Bernard, 1980. Museu de la Musica (Barcelone)

« [Pour] faire entendre les notes, Pythagore [utilise] le **monocorde** ... corde tendue sur une caisse de résonance munie d'un chevalet mobile placé sous la corde et permettant de diviser celle-ci en deux parties ... En déplaçant le chevalet du monocorde, nous observons que plus la longueur de corde que l'on fait vibrer est courte plus le son qu'elle émet est aigu, c'est-à-dire plus sa fréquence de vibration est élevée. Nous pouvons en conclure la loi importante que la fréquence de vibration de la corde est inversement proportionnelle à sa longueur. »

<https://edutheque.philharmoniedeparis.fr/pythagore-entendre-les-nombres.aspx>

Lorsque l'on place le chevalet de façon à faire vibrer les 3/4 de la corde, le son obtenu correspond à un intervalle de **quarte** par rapport à la note **fondamentale** (c'est-à-dire la note correspondant à la vibration de la corde dans toute sa longueur). Quand on fait vibrer les 2/3 de cette corde, on obtient l'intervalle de **quinte**. À la moitié (1/2), c'est l'intervalle **d'octave**.

<https://edutheque.philharmoniedeparis.fr/pythagore-entendre-les-nombres.aspx>

## INTERVALLES MUSICAUX

Intervalle	Rapport associé	Nombre de $\frac{1}{2}$ tons	Exemple
Unisson	1/1	0	Do
Octave	2/1	12	Do-do
Quinte	3/2	7	Do-Sol
Quarte	4/3	5	Do-Fa
Tierce majeure	5/4	4	Do-Mi
Tierce mineure	6/5	3	Ré-Fa
Sixte majeure	5/3	9	Do-La
Sixte mineure	8/5	8	Mi-Do
Seconde majeure	9/8	2	Do-Ré
Seconde mineure	256/243	1	Mi-Fa

# LA MUSIQUE

Timbre : spécifique aux instruments (couleur), dû à la richesse en harmoniques

Mélodie : lecture horizontale, succession des notes

A musical score for Clarinet and Piano. The Clarinet part is highlighted with a yellow box. The piano part is shown with a treble clef staff and a bass clef staff. The score consists of two systems of music. The first system starts with a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The second system starts with a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The piano part provides harmonic support with chords. A red box highlights a melodic line in the Clarinet part.

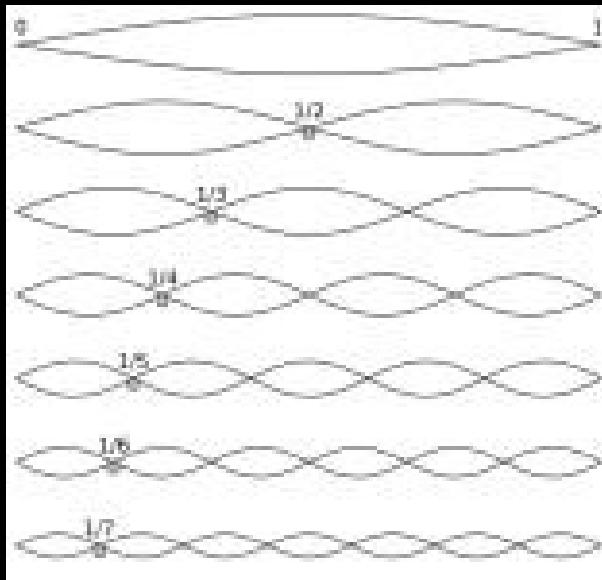
Harmonie : lecture verticale, rapport des hauteurs des sons (accord)

A musical score for Piano. The score consists of two systems of music. The first system starts with a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The second system starts with a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 4/4 time signature. The piano part provides harmonic support with chords. A green box highlights a rhythmic pattern in the upper staff, and a blue box highlights a harmonic progression in the lower staff.

Rythme : rapport des durées

# L'HARMONIE

Si une note possède une vibration (une fréquence) qui vaut  $n$ , les harmoniques sont les vibrations  $2n$ ,  $3n$ ,  $4n$ ,  $5n$ , etc. Par exemple le La3, hauteur de référence en musique, a une fréquence de 440 Hz, son premier harmonique, à l'octave La4 a une fréquence de 880 Hz.

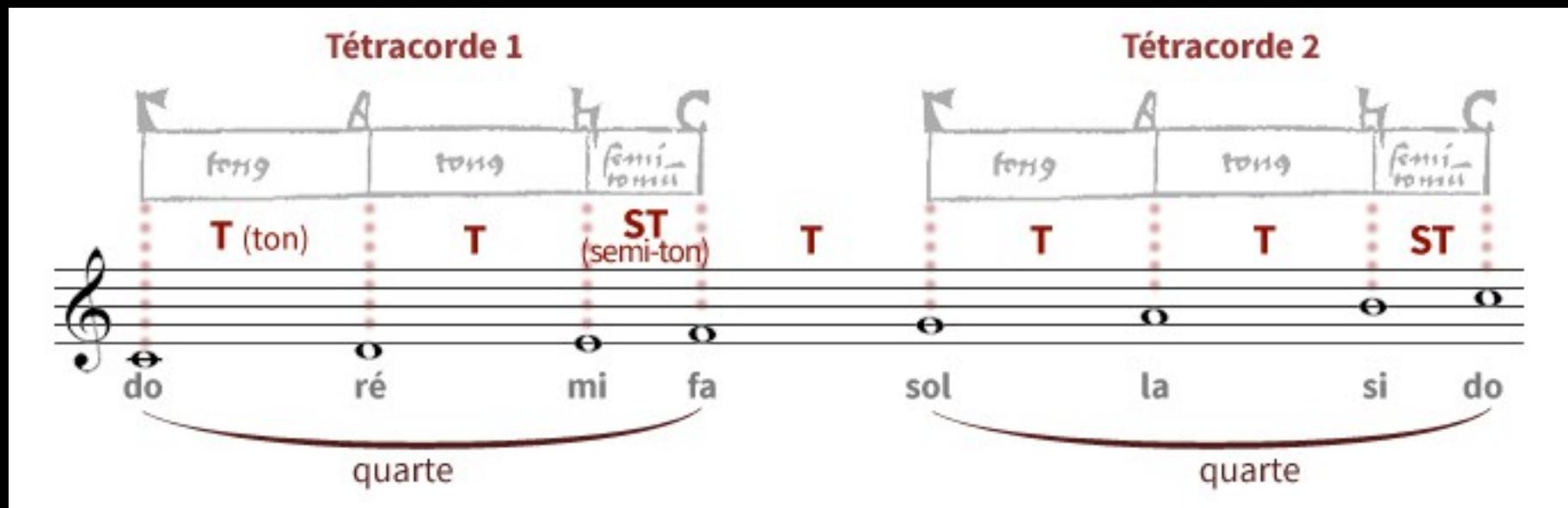


Tout instrument de musique, en plus de la fréquence fondamentale de la note exécutée, émet des harmoniques, avec un spectre plus ou moins riche, dont les amplitudes vont généralement en diminuant. Ce sont ces harmoniques qui lui confèrent son **timbre** (différence audible entre les différents instruments de l'orchestre, par exemple les « bois » et les « cordes »).

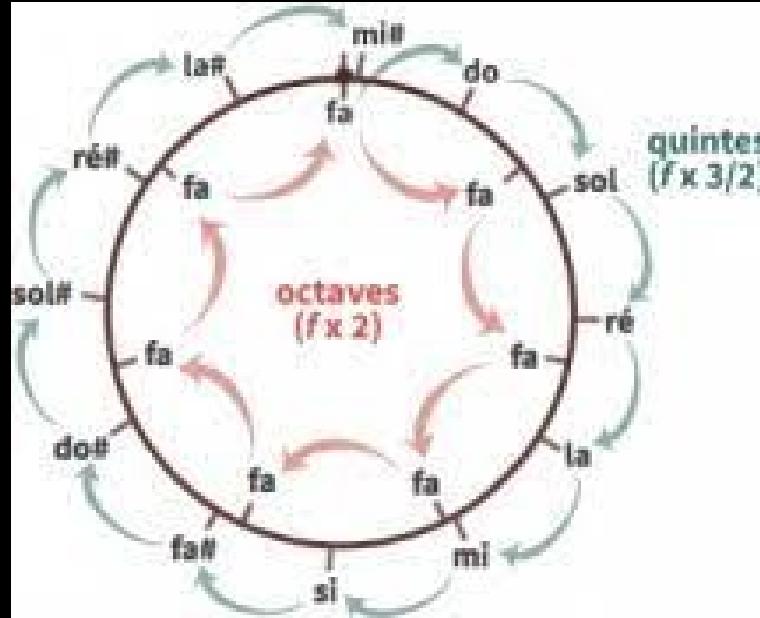
Un son est dans la nature constitué de sa fréquence pure et de ses harmoniques. L'oreille réagit logiquement à ces lois naturelles et reconnaît comme **agréable** un harmonique associé à sa fréquence pure. C'est pourquoi les accords vont utiliser des notes dont les harmoniques vont se correspondre, comme la **quinte** (rapport 3/2) dont, l'harmonique 2 de la note de quinte (dominante) correspondant à l'harmonique 3 de la note de base (tonique). Ce côté agréable existe aussi pour l'accord de **tierce majeure** (5/4).

L'accord tierce majeure, quinte (par exemple do-mi-sol) est nommé **accord parfait**, cet accord est **consonnant**.

L'utilisation d'autres accords sonne « moins bien » à l'oreille.



Dans la « **gamme diatonique** » (notre mode « **majeur** »), si l'on part d'une note on peut construire les 2 suivantes à **un ton** d'intervalle (rapport 9/8) et la suivante selon le rapport de quarte fixe (rapport 4/3) et sera donc à **un demi-ton** (rapport 256/243). En utilisant deux systèmes, tels que le second soit séparé d'un ton du premier, l'ensemble, va se terminer à l'octave de la note de départ, formant « **la gamme pythagoricienne** ». Elle est en réalité bien antérieure à Pythagore, mais porte son nom parce qu'elle est construite selon le système qu'il a théorisé que l'on peut jouer avec les touches blanches du piano.



Pythagore conçut une construction à partir d'une succession de quintes (**« le cycle des quintes »**), intervalle considéré comme le plus consonnant (rapport 3/2), les 6 premières quintes donnent les notes de la gamme diatonique (fa, do, sol, ré, la ,mi si) et les 5 suivantes vont s'intercaler (fa#, do#, sol#, ré#, la#) , la dernière mi# ne va pas tout à fait correspondre au fa (7e octave de la note de départ). En effet cela supposerait que :

$$(3/2)^{12} = 2^7 \equiv 3^{12} = 2^{19}$$

ce qui impossible, le premier terme étant impair, le second pair (en fait le rapport des deux valeurs est de 1,014).

La quinte finale (ici la# fa) sonne faux, elle est nommée **« quinte du loup »**. Pour ne pas avoir à multiplier les touches sur le piano (faciliter la construction des autres instruments), les facteurs d'instruments devront **« tricher »** sur la valeur du  $\frac{1}{2}$  ton en **« tempérant »** la gamme avec des **intervalles égaux** à  $^{12}\sqrt{2}$  ( $\approx 1,05$ )

**DE LA MUSIQUE A L'ASTRONOMIE**

« [Les Pythagoriciens] pensaient notamment que les 7 notes naturelles de la gamme harmonique étaient associées aux 7 corps célestes connus (le Soleil, la Lune et les 5 planètes) »

JP LUMINET – «Du piano aux étoiles »

7 planètes, 7 notes :

De Saturne Si à la Lune La, en passant par Jupiter Do, Mars Ré, Soleil Mi, Mercure Fa et Vénus Sol.

(la Terre était considérée comme étant le centre de l'Univers, autour duquel tournaient les autres « astres errants »)

« ... comme les yeux ont été formés pour l'astronomie, les oreilles l'ont été de même pour le mouvement harmonique et que ces sciences sont sœurs, comme le disent les Pythagoriciens, et ... nous l'admettons avec eux »

PLATON – La république – Livre VII [338]

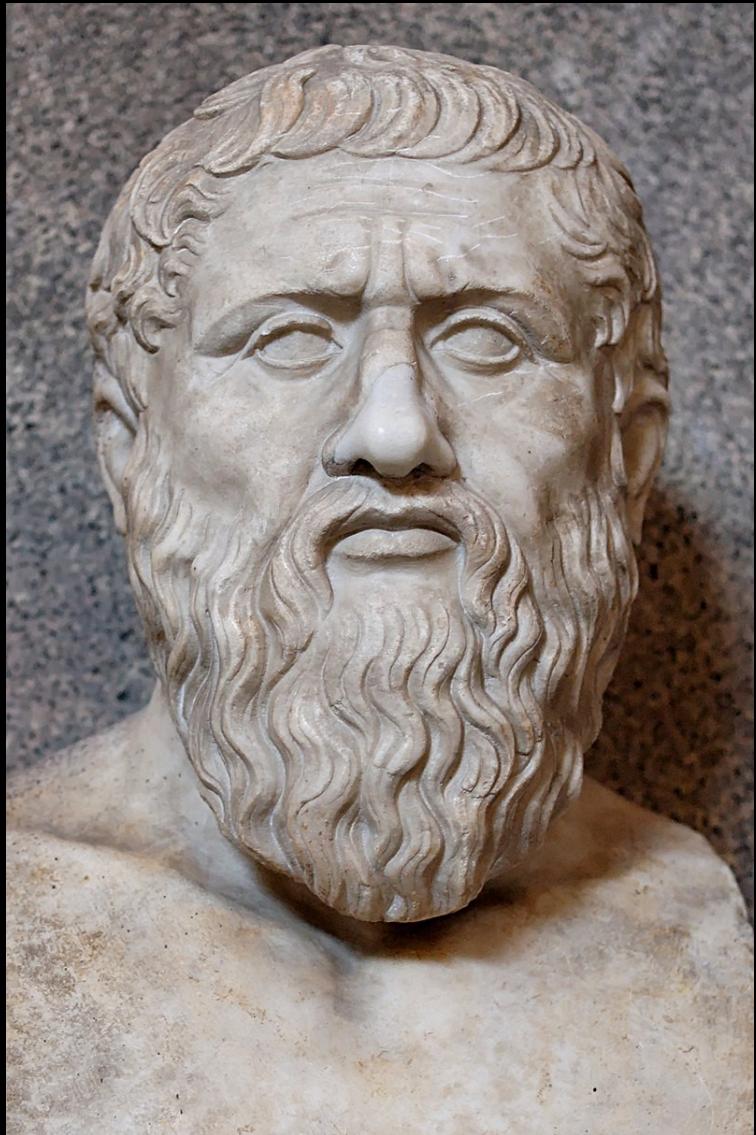
PLATON décrit l'Univers comme :

«...un endroit d'où l'on découvre une lumière qui s'étend d'en haut à travers tout le ciel et la terre ...  
Cette lumière était un lien qui enchaînait le ciel, comme les cordes qui font le tour des trières ; c'est de la même façon qu'elle retenait toute la sphère tournante. Aux extrémités de ces liens était suspendu le fuseau de la Nécessité qui faisait tourner toutes les sphères ; la tige et le crochet étaient d'acier, et le peson un mélange d'acier et d'autres matières...  
Le fuseau tout entier tournait sur lui-même d'un mouvement uniforme ; mais dans la rotation de l'ensemble, les sept cercles intérieurs tournaient lentement dans un sens contraire à tout le reste...  
Sur le haut de chaque cercle se tenait une sirène qui tournait avec lui et qui faisait entendre sa note à elle, son ton à elle, en sorte que ces voix réunies, au nombre de huit composaient un accord unique. »

PLATON – La république Livre X [234]

Ces sons ne nous sont pas audibles et la Terre immobile ne peut pas produire de son.

« **Le Maître seul avait le don d'entendre la musique des sphères** »



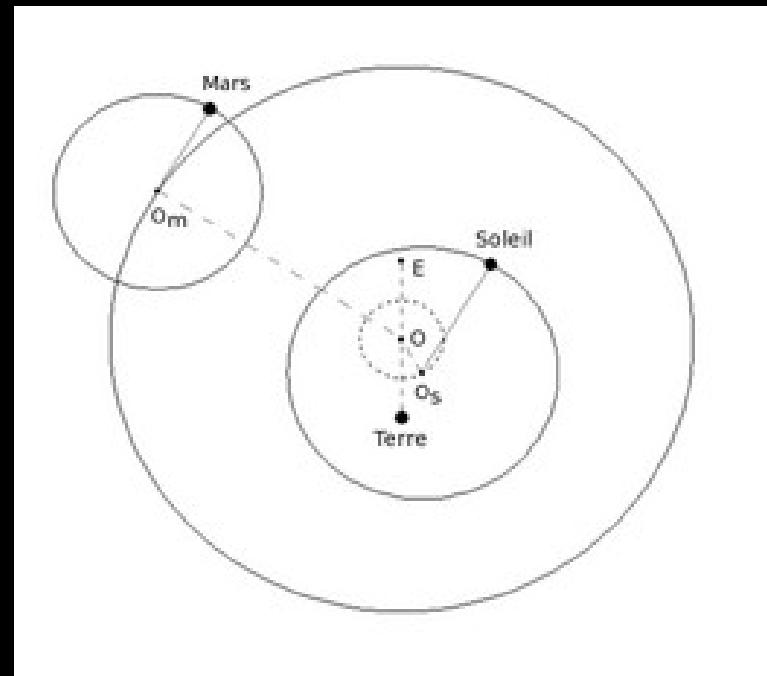
Artiste inconnu – Domaine public

**PLATON (427 – 347 av. n. e.)**



Domaine public

Les mouvement des astres célestes allait être « mathématisé », **Claude PTOLOMEE (ca 100-168)** dans son ouvrage **l'almageste** en étant le représentant. Son ouvrage a servi de référence durant de nombreux siècles pour la détermination des éphémérides.

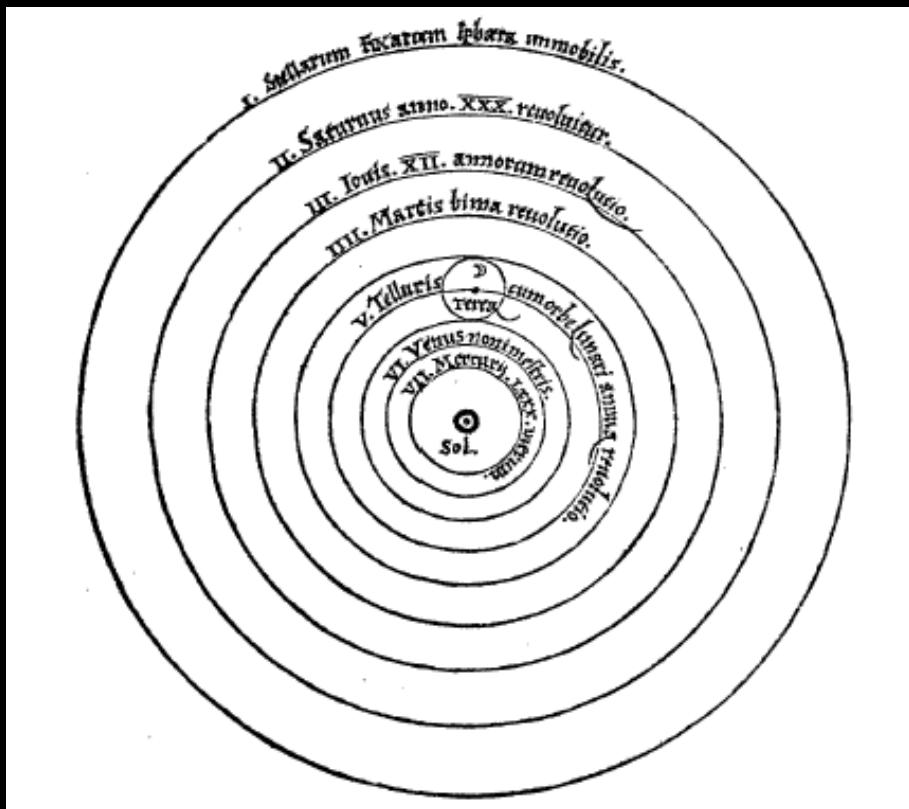


Dhenry - travail personnel.

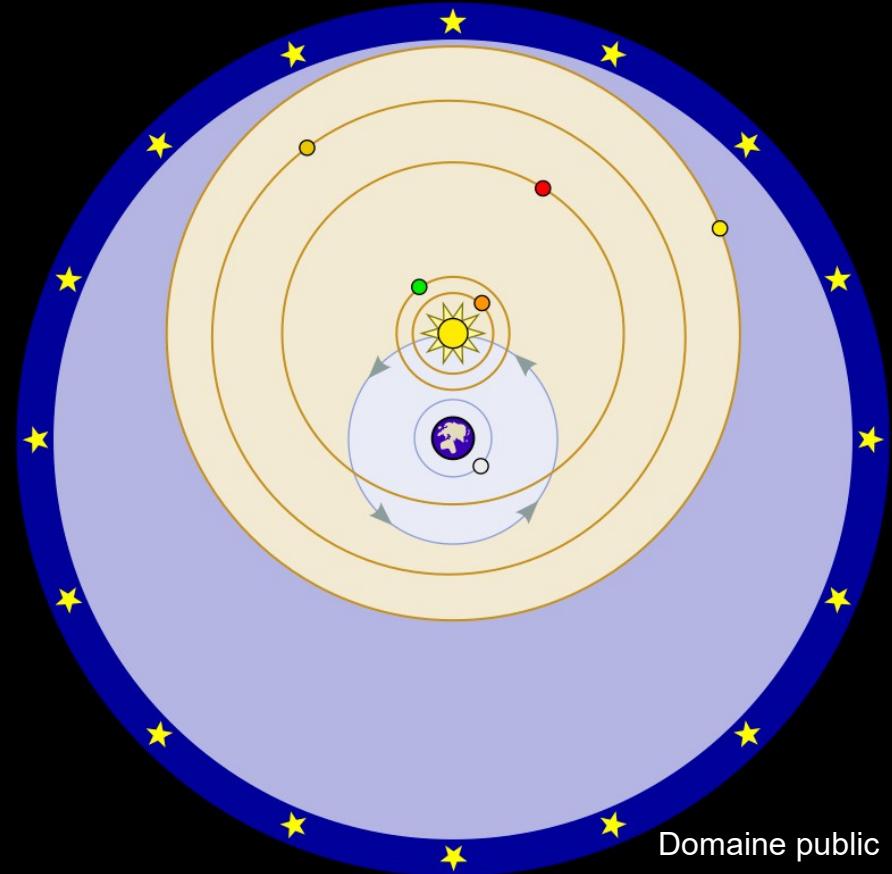
Il écrivit un traité de musicologie « **Les harmoniques** », mais sans réelle application à la cosmologie.

Son **modèle**, malgré quelques polémiques et tentatives d'introduire des rapports musicaux, fut **conservé jusqu'au XVI<sup>e</sup> siècle**.

Allaient suivre d'autres modèles, basés sur les mêmes principes mathématiques, mais avec une hypothèse de base différente.



COPERNIC « De Revolutionibus orbium coelestium »



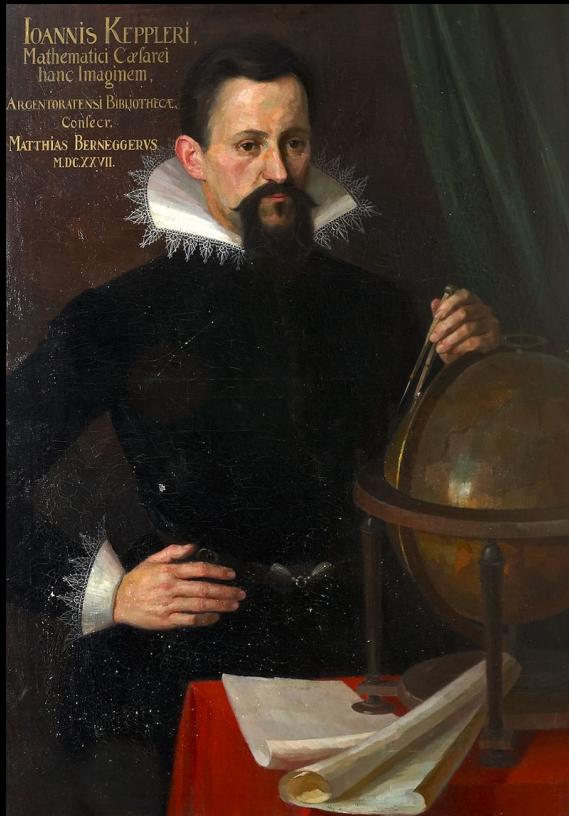
Domaine public

Le modèle de Nicolas **COPERNIC** (1473-1543). Modèle héliocentrique : les planètes tournent autour du Soleil, présenté comme « *une alternative mathématiquement plus simple* ».

Le modèle de **Tycho BRAHE** (1546-1601), la Terre reste centre de l'Univers, autour duquel tournent le Soleil et la Lune. Les autres planètes tournent, quant à elles autour du Soleil.

Sans que ni l'un, ni l'autre ne fasse référence à une structure « musicale » du Cosmos.

**Johannes KEPLER (1571-1630)**, partageant les idées de COPERNIC, va s'appuyer sur les observations de BRAHE pour élaborer de nouvelles théories. Elles serviront ultérieurement de fondement à NEWTON dans pour l'établissement de sa loi de la gravitation.

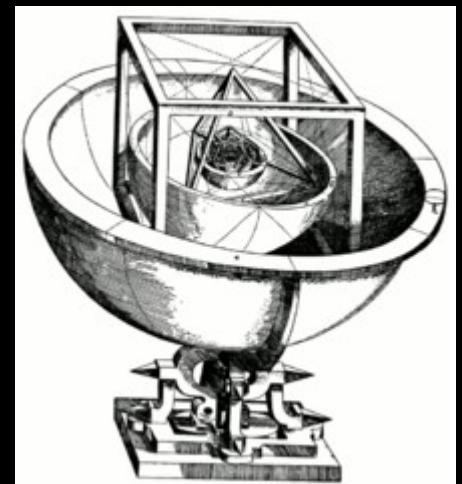


Kepler-Museum – Domaine public

« Selon les théologiens, la compréhension de Dieu émergeait des régularités et analogies que l'on lit dans les phénomènes, d'un ordre écrit de la nature, auquel on attribue le nom d'Harmonie. Ainsi scruter le Cosmos rapproche l'homme de Dieu, quand il est possible d'en discerner l'Harmonie ... Képler était possédé et envouté par l'idée d'Harmonie »

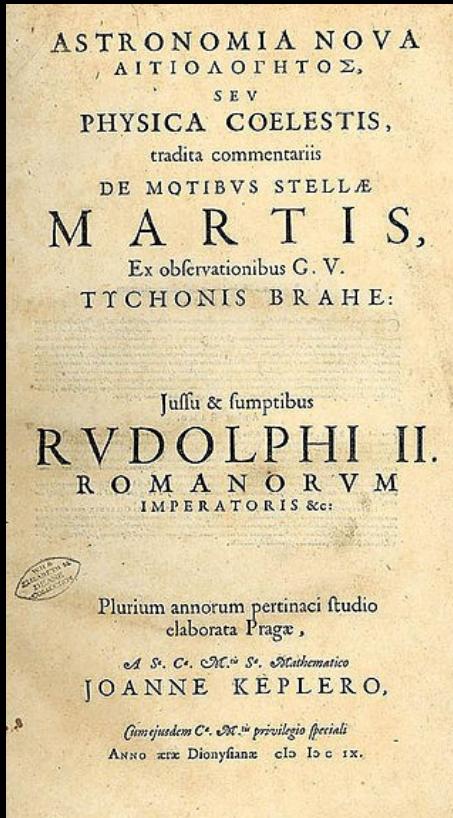
Anna-Maria LOMBARDI - « Képler, le musicien du ciel » p15

Dans son ouvrage « **Mysterium Cosmographicum** » (1596), il cherche une relation entre le système solaire et les figures géométriques, où les planètes, sur des **sphères**, se trouvaient intercalées entre des **polyèdres réguliers**.



Mysterium Cosmographicum, 1576

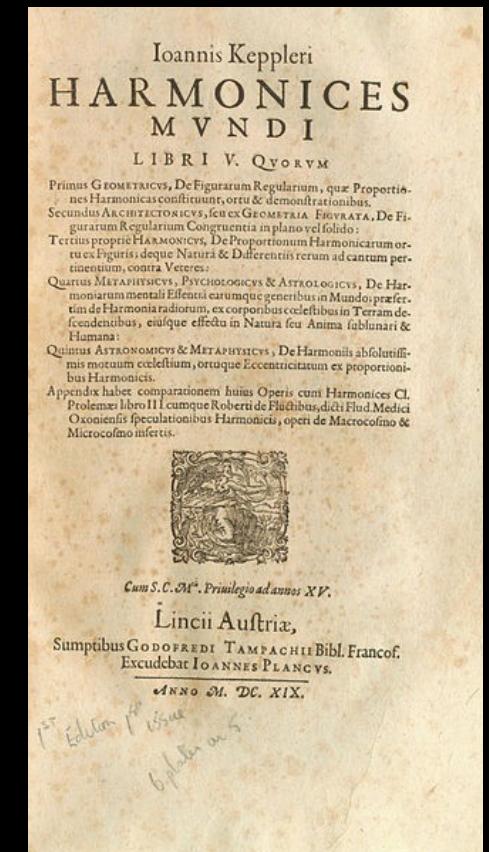
L'emboîtement était constitué ainsi : le cube entre les orbes de Saturne et de Jupiter, le tétraèdre entre celles de Jupiter et Mars, puis le dodécaèdre, entre celle de Mars et la Terre, suivi par l'icosaèdre englobant l'orbe de Vénus, lui-même circonscrit à l'octaèdre, qui entourait enfin l'orbe de Mercure. Pour prendre en compte la variabilité de la distance des planètes au Soleil (due pour Kepler à l'excentricité et aux épicycles de chacune) chaque orbite a une épaisseur correspondant à la différence entre la distance maximale et la distance minimale de la planète au Soleil.



C'est dans son ouvrage « **Astronomia Nova** » paru en 1609 qu'il édicte ses deux premières lois :

« *Les planètes décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil est un foyer.* »

« *Le mouvement de chaque planète est tel que le segment de droite reliant le soleil et la planète balaie des aires égales pendant des durées égales.* »



En 1619, il publie « **Harmonices Mundi** » dans lequel il publie sa troisième loi :

« *le carré de la période est proportionnel au cube du demi-grand axe [de l'ellipse]* »

C'est dans cet ouvrage qu'il attribue aux planètes un thème musical à partir des variations des vitesses de ces planètes qui sont représentées par les différentes notes composant la musique et formant une « **harmonie** »

« *Comment s'étonner de l'excellence de la Musique lorsque l'on voit que l'homme l'a créée en imitant le jeu de Dieu créateur de l'ordre et des mouvements célestes* »

**DE L'ASTRONOMIE A LA MUSIQUE**

Planète	Distance du Soleil	Intervalle musical	Intervalle "convergent"	Intervalle "divergent"
Saturne	Aphélie 1'46" = a Périhélies 2'15" = b	1'48"/2'15" = 4/5 tierce majeure	b/c = 1/2	a/d = 1/3
Jupiter	Aphélie 4'30" = c Périhélies 5'30" = d	4'35"/5'30" = 5/6 tierce mineure	d/e = 5/24	c/f = 1/8
Mars	Aphélie 26'14" = e Périhélies 38'01" = f	25'21"/38'01" = 2/3 quinte	f/g = 2/3	e/h = 5/12
Terre	Aphélie 57'03" = g Périhélies 61'18" = h	57'28"/61'18" = 15/16 demi-ton	h/i = 5/8	g/k = 3/5
Vénus	Aphélie 94'59" = i Périhélies 97'37" = k	94'50"/98'47" = 24/25 demi-ton chromatique	k/l = 3/5	i/m = 1/4
Mercure	Aphélie 164'00" = l Périhélies 394'00" = m	164'00"/394'00" = 5/12 octave + tierce mineure		

Anna-Maria LOMBARDI – op cit. p119

C'est ainsi qu'il détermine à partir des vitesses des planètes les rapports de celles-ci :

- entre aphélie et périphérie propres à la planète ;
- entre aphélie de l'une et périphérie l'autre (intervalle divergent) ;
- entre périphérie de l'une et aphélie de l'autre (intervalle convergent)

Le rapport de ces vitesses peut être exprimé comme un rapport de fréquences, représentatives d'une note. L'intervalle formé est proche d'un accord parfait.

Par exemple, la vitesse angulaire maximale de la Terre telle qu'elle est mesurée à partir du Soleil varie d'un demi-ton (un ratio de 16:15), de mi à fa, entre aphélie et périhélie. Vénus ne varie que d'un infime intervalle de 25:24 (dièse sur le plan musical). Kepler explique ainsi la raison de la gamme harmonique resserrée de la Terre :

**« La Terre chante Mi, Fa, Mi : on peut même déduire de ces syllabes que sur notre terre la Misère et la FAmine règnent ».**

Le chœur céleste que Kepler forme est composé d'un ténor (Mars), deux basses (Saturne et Jupiter), une soprano (Mercure), et deux altos (Vénus et la Terre). Mercure, avec sa grande orbite elliptique, peut être en mesure de produire le plus grand nombre de notes, tandis que Vénus n'est capable d'émettre qu'une seule note, son orbite étant presque un cercle.

À intervalles très rares toutes les planètes chantaient ensemble dans un « accord parfait » : Kepler avance que ce n'est peut-être arrivé qu'une seule fois dans l'histoire, au moment de la création.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Harmonices\\_Mundi](https://fr.wikipedia.org/wiki/Harmonices_Mundi)

Ce qui ne va pas manquer d'inspirer plusieurs compositeurs Renaissance ou contemporains. Par exemple :



Paul MIGNARD

Jean-Baptiste **ULLY (1632-1687)**  
« *Le ballet des planètes* » 1676  
Hugo Reyne – Decca



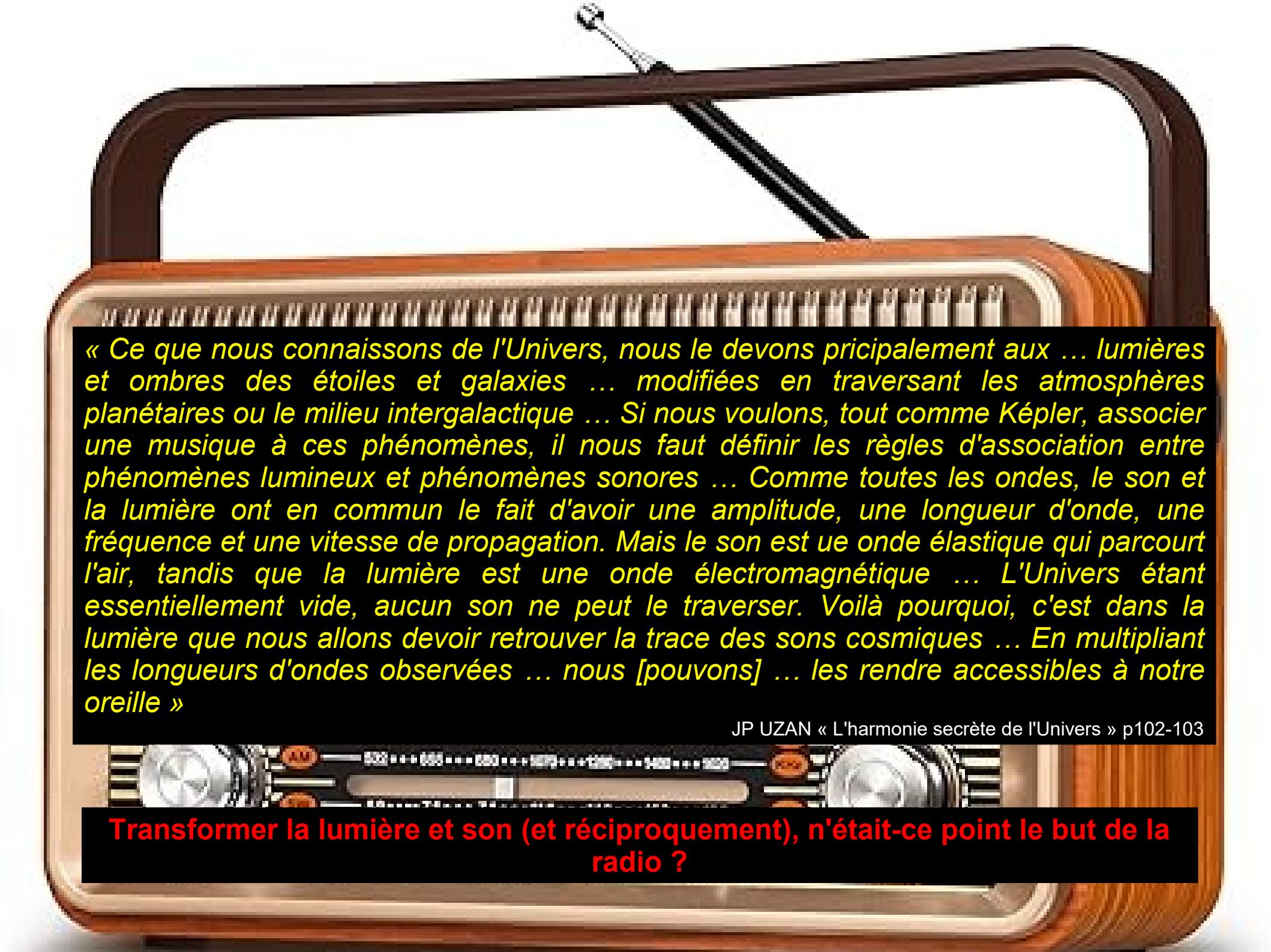
Jürgen Heegmann

Mike **OLDFIELD (1953- ....)**  
« *Musique des sphères* » 2008  
Harbinger – Universal Music



Deen van Meer

Joep **FRANSSENS (1955- ....)**  
« *Harmonie des sphères* » 1994-2001  
IV - Version Amstel Quartet live (deussmusic.com)



« Ce que nous connaissons de l'Univers, nous le devons principalement aux ... lumières et ombres des étoiles et galaxies ... modifiées en traversant les atmosphères planétaires ou le milieu intergalactique ... Si nous voulons, tout comme Képler, associer une musique à ces phénomènes, il nous faut définir les règles d'association entre phénomènes lumineux et phénomènes sonores ... Comme toutes les ondes, le son et la lumière ont en commun le fait d'avoir une amplitude, une longueur d'onde, une fréquence et une vitesse de propagation. Mais le son est une onde élastique qui parcourt l'air, tandis que la lumière est une onde électromagnétique ... L'Univers étant essentiellement vide, aucun son ne peut le traverser. Voilà pourquoi, c'est dans la lumière que nous allons devoir retrouver la trace des sons cosmiques ... En multipliant les longueurs d'ondes observées ... nous [pouvons] ... les rendre accessibles à notre oreille »

JP UZAN « L'harmonie secrète de l'Univers » p102-103



Transformer la lumière et son (et réciproquement), n'était-ce point le but de la radio ?

C'est ainsi que l'on peut associer, comme Newton, une onde à une couleur :

*« Il n'en est pour autant pas ... troublant que la gamme de 12 notes s'appelle la gamme chromatique (gamme des couleurs) »*

JP UZAN – op. Cit. P 109

*« ... c'est une construction de notre cerveau en réaction à un stimulus ... dans un contexte donné ... L'artiste est donc libre de faire les associations qui lui sont propres, sans avoir à chercher la moindre signification scientifique. »*

JP UZAN – op. Cit. P 109

### VOYELLES

A noir, E blanc, I rouge, U vert, O bleu : voyelles,  
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :  
A, noir corset velu des mouches éclatantes  
Qui bombinent autour des puanteurs cruelles,

Golfe d'ombre ; E, candeur des vapeurs et des tentes,  
Lances des glaciers fiers, rois blancs, frissons d'ombelles ;  
I, pourpres, sang craché, rire des lèvres belles  
Dans la colère ou les ivresses pénitentes ;

U, cycles, vibrements divins des mers virides,  
Paix des pâlis semés d'animaux, paix des rides  
Que l'alchimie imprime aux grands fronts studieux ;

O, suprême Clairon plein des strideurs étranges,  
Silences traversés des Mondes et des Anges :  
— O l'Oméga, rayon violet de Ses Yeux !

Arthur RIMBAUD - Poésies

« L'homme découvre l'Univers dont il est issu et dont il fait partie, et il récupère les vibrations sonores naturelles des étoiles pour sa propre créativité. Le plus surprenant est sans doute le bonheur que cela lui procure »

Sylvie VAUCLAIR « La nouvelle musique des sphères »

En 1967, allaient être découverts les pulsars, objets astronomiques produisant un signal périodique allant de l'ordre de la milliseconde à quelques dizaines de secondes. Le pulsar serait une étoile à neutrons tournant très rapidement sur elle-même (période typique de l'ordre de la seconde, voire beaucoup moins pour les pulsars milliseconde) et émettant un fort rayonnement électromagnétique dans la direction de son axe magnétique.

C'est ce rayonnement qui va inspirer **J-Pierre LUMINET(1951....)**, astrophysicien et **Gérard GRISEY (1946-1998)**, compositeur, pour leur œuvre, parue en 1990 ;

**« Le noir de l'étoile »**

<https://www.youtube.com/watch?v=tOpoqkMNPTU>

Les percussionnistes de Strasbourg



Pulsar du Crabe, image composite-visible et rayons X

NASA – Domaine public

La branche de l'astronomie qui étudie les modes de vibration des étoiles est appelée astérosismologie. On parle aussi d'héliosismologie quand cette étude concerne plus particulièrement notre étoile, le Soleil...

En analysant la lumière émise par un astre, ils peuvent déduire très précisément la façon dont sa surface vibre, et donc les ondes acoustiques qu'il produit (un peu comme on pourrait déduire le son d'un tambour en l'observant vibrer sur des images muettes).

Ces vibrations sonores constituent pour les scientifiques une source d'informations très précieuses. Elles les renseignent sur la masse, le rayon et l'âge des étoiles, mais aussi sur leur structure interne, leur composition chimique et leur évolution comme, par exemple, les trous noirs.

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/trou-noir-ecoutez-hurlement-trou-noir-98342/>

Des musiciens se sont également intéressés à cette nouvelle musique des sphères. Pour que nos oreilles puissent l'entendre, ils l'ont transposée de 18 octaves !

<https://www.gralon.net/articles/sports-et-loisirs/loisirs/article-astronomie---decouvrez-le-chant-des-etoiles-12163.htm>

Dans leur ouvrage « La nouvelle musique des sphères » **Sylvie VAUCLAIR (1946-....)**, astrophysicienne et **Claude-Samuel LEVINE (1967-....)**, compositeur, ont mêlé astronomie et musique :

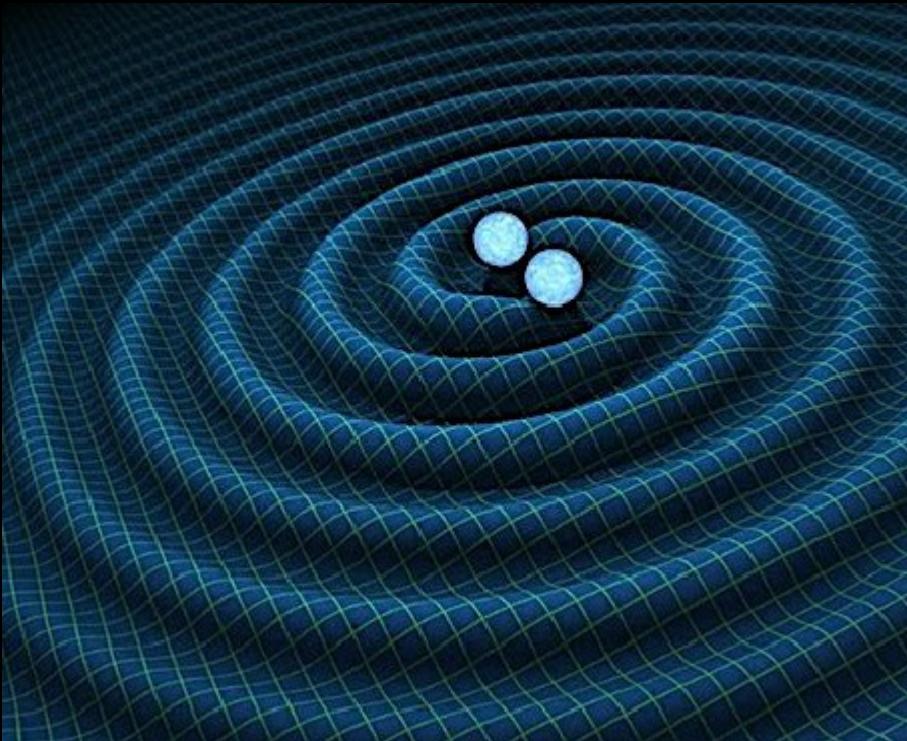
« ... le Soleil vibre en Sol # ... »

La :

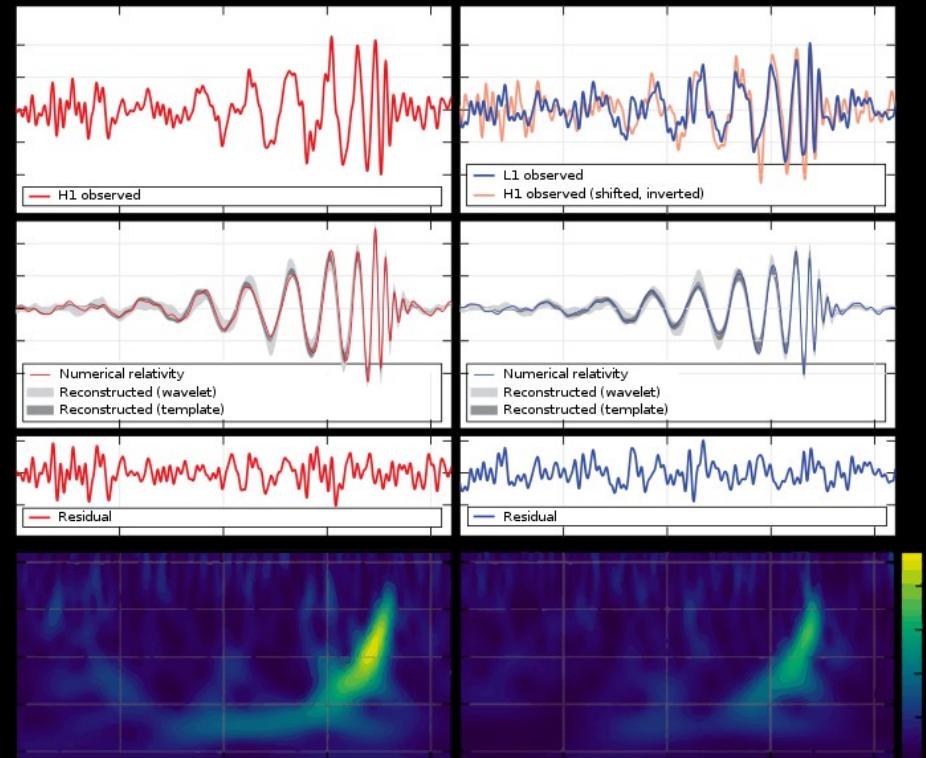
« **Musique des sphères** » 2014

<https://www.youtube.com/watch?v=6Ab99fldMUc>

de ce compositeur donne à entendre la mélodie de 12 étoiles.



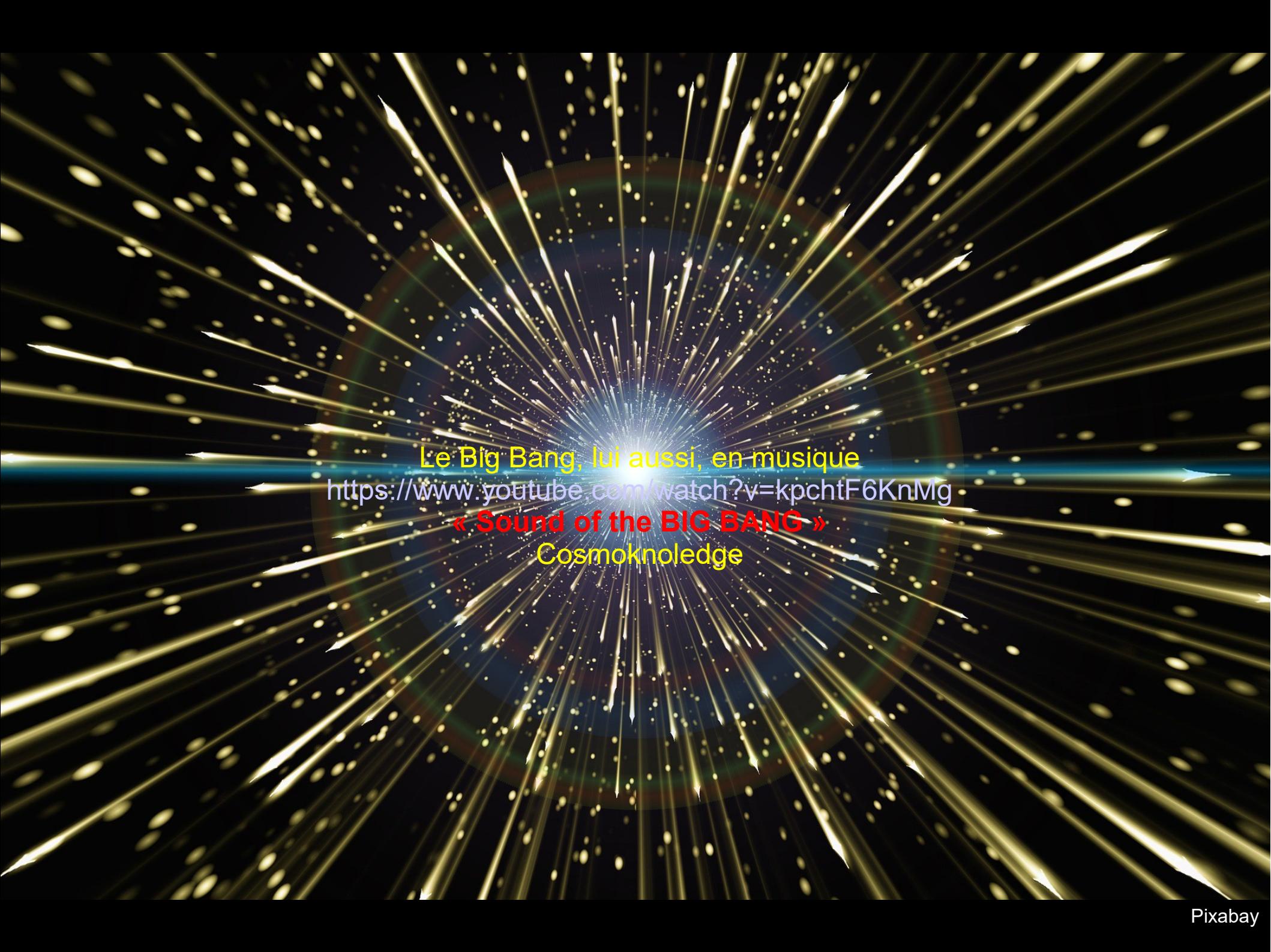
[www.ip2i.in2p3.fr/equipes/ondes-gravitationnelles/](http://www.ip2i.in2p3.fr/equipes/ondes-gravitationnelles/)



B. P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

Le 14 septembre 2015 les détecteurs LIGO à Hanford (à gauche) et à Livingston (à droite) le 14 septembre 2015 enregistraient des signaux correspondant à ce qui était prévu par la théorie de la relativité générale pour la fusion de deux trous noirs (en bas). Ce qui fit dire à Gabriella Gonzales, porte-parole de l'instrument :

« Nous avons détecté des ondes gravitationnelles, désormais nous **écoutons** l'Univers »



Le Big Bang, lui aussi, en musique  
<https://www.youtube.com/watch?v=kpchtF6KnMg>  
« **Sound of the BIG BANG** »  
Cosmoknoledge



« On parle de musique des étoiles, mais ce ne sont pas les étoiles qui font de la musique, pas plus que le violon ne fait de la musique. C'est le musicien qui fait de la musique en utilisant l'instrument ... la musique peut se développer selon toute la créativité du compositeur. L'homme découvre que l'Univers dont il est issu et dont il fait partie, et il récupère les vibrations sonores naturelles des étoiles pour sa propre créativité. Le plus surprenant est sans doute le bonheur que cela lui procure. »

JP LUMINET – Op. CIT.

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

Guillaume CANNAT

## PRINCIPALES SOURCES

PLATON : « La république » (trad. CHAMBRY) - Wikisource

Eduthèque Philharmonie de Paris : « Pythagore et l'art de faire entre les nombres »  
<https://edutheque.philharmoniedeparis.fr/pythagore-entendre-les-nombres.aspx#play=1337,1683,4>

UZAN Jean-Philippe : « L'harmonie secrète de l'Univers » - Champs Sciences Flammarion 2019

LOMBARDI Anna Maria ; « Képler, le musicien du ciel » - Belin, pour la science 2003

KOESTLER Arthur : « Les somnambules » - Calmann-Lévy 1960

SPITZER Michael : « Une symphonie fantastique » Saint-Simon 2022

VAUCLAIR Sylvie : « La nouvelle musique des sphères » - Odile Jacob 2013

LUMINET Jean-Pierre : « Du piano aux étoiles » - Le Passeur 2021

WARRAIN Francis : « Essai sur "L'Harmonices Mundi" de Johan Kepler » - HERMAN et Cie 1942 – Disponible sur GALLICA