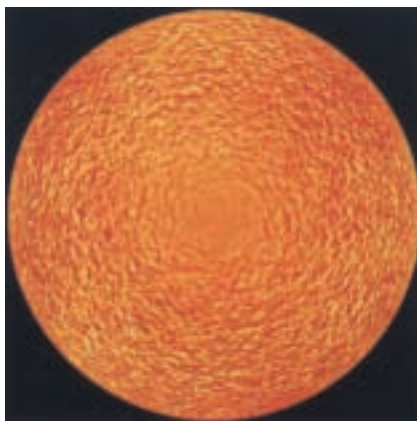




La musique des sphères

MARC LACHIÈZE-REY • JEAN-PIERRE LUMINET

Des Pythagoriciens à la physique moderne, les démarches intellectuelles qui cherchent à appréhender le monde utilisent la notion d'harmonie.

Les globes voltent sous mes doigts, traçant les courbes musicales de ce poème.

(André Suarès, «Le Musicien des sphères», dans *Images de la grandeur*, 1901)

En physique, l'une des plus intéressantes théories d'unification des interactions tente de décrire les particules non pas comme des corpuscules ponctuels, mais comme des vibrations de minuscules «cordes», entités géométriques à une dimension. Ce type de modélisation, fondé sur des symétries mathématiques particulières, constitue l'un des derniers développements d'une tradition qui remonte aux Pythagoriciens.

Pour ces derniers en effet, l'Univers devait nécessairement se manifester par des proportions «justes», par des rythmes, par des nombres : le monde chantait et vibrerait harmonieusement ! Dès le VI^e siècle avant notre ère, ils avaient remarqué que les intervalles musicaux tels que l'octave, la quinte, la tierce, etc., s'obtiennent en faisant vibrer des cordes dont les longueurs sont des fractions entières de la longueur qui engendre la note fondamentale, comme 1/2, 2/3, 3/4, etc. Considérant le cosmos dans son ensemble comme un système harmonieux, ils en avaient déduit que les sept notes naturelles de la gamme étaient en correspondance avec les sept corps célestes connus (le Soleil, la Lune et les cinq planètes visibles), auxquels s'ajoutaient trois sphères supplémentaires pour atteindre le nombre dix, parfait entre tous (car c'est notamment la somme des quatre premiers entiers).

Un peu plus tard, au IV^e siècle, Platon décrit, dans *l'Épinomis*, cette harmonie céleste, en déclarant notamment que les astres exécutent «le plus magnifique de tous les chœurs». Cicéron évoque dans le *Songe de Scipion* ce son «si intense et si agréable» qui remplit les oreilles de son héros : «l'impulsion et le mouvement de ces orbes [célestes] sont réglés selon certains intervalles inégaux, obéissant à des rapports de proportion très exacts. Les plus aigus sont tempérés par les plus graves, et leur équilibre donne différentes harmonies.»

Cette tradition, assimilant le cosmos à un instrument de musique, se perpétue pendant le Moyen Âge et jusqu'à la renaissance scientifique. Au XVII^e siècle, le jésuite encyclopédiste Athanasius Kircher évoque, dans *l'Œuvre universelle des muses* (*Musurgia universalis*), «la grande musique du monde, cette merveilleuse correspondance des cieux, des éléments et des créatures» (voir la figure 4), tandis que le médecin londonien Robert Fludd décrit, dans *Des deux mondes* (*Utriusque Cosmi*), l'Univers comme un luth monocorde conçu par Dieu, dont les dix registres (les dix sphères célestes pythagoriciennes) traduisent l'harmonie de la Création.

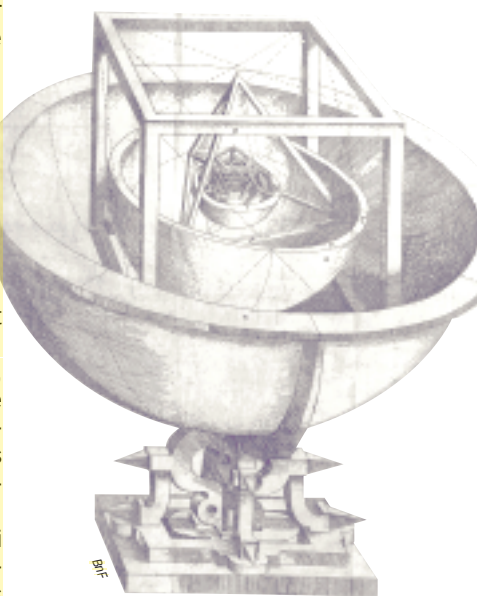
Pour le Français Marin Mersenne, tout ce qui s'exprime par des proportions peut être traité en termes d'harmonie et donc, en particulier, la disposition des orbes célestes. À la même époque, l'astronome allemand Johannes Kepler reprend l'idée qu'un astre émet un son d'autant plus aigu que

son mouvement est rapide, et l'adapte à sa découverte de la nature elliptique des orbites planétaires : des intervalles musicaux bien définis sont associés aux planètes (voir la figure 3). Kepler voit dans cet enrichissement de la symphonie céleste la confirmation de sa découverte : la «beauté harmonique» du monde, qui selon lui émane d'une volonté divine explicite et s'adresse directement à notre âme.

Près d'un siècle plus tard, l'œuvre d'Isaac Newton englobe deux visions du monde apparemment antagonistes : d'une part une conception mécaniste (le monde s'explique comme une grande horloge réglée par des lois universelles) ; d'autre part, l'idée que la nature reste soumise à une harmonie d'ordre supérieur – d'où son intérêt profond pour l'alchimie, la théologie, voire l'astrologie. En réalité, les immenses succès de sa mécanique (prédiction du retour des comètes périodiques, découverte de la planète Neptune par le calcul) seront en partie dus à la mise en œuvre de nouvelles et puissantes constructions mathématiques, dont l'accord avec le monde observable exprime l'harmonie de ce dernier. Newton accomplit ainsi le rêve de Kepler : «Cet arrangement aussi extraordinaire du Soleil, des planètes et des comètes n'a pu avoir pour source que le dessein et la Seigneurie d'un être intelligent et puissant» (*Principes de la Philosophie Naturelle*, 1687)

L'HARMONIE DANS LA PHYSIQUE MODERNE

Après Newton, l'harmonie sera toujours invoquée par les physiciens pour décrire et pour comprendre le monde, mais sous des formes nouvelles. «Quand, à une certaine occasion, j'ai demandé au professeur Einstein comment il avait trouvé la théorie de la relativité, il me répondit qu'il l'avait trouvée parce qu'il était tout à fait convaincu de l'harmonie de l'Univers» rapporte l'épistémologue Hans Reichenbach. Métaphysique, philosophie, religion, ésotérisme, références musicales et artistiques disparaissent du discours explicite de la



1. Dans *Le secret du monde*, Kepler voyait l'Univers comme un emboîtement de solides parfaits : «les solides symétriques s'insèrent les uns après les autres avec tant de précision entre les orbites appropriées qui si un paysan demandait à quels crochets les cieux sont fixés, il serait facile de lui répondre».

science. Physique et astrophysique parlent pourtant de spectres, de fréquences, de résonances, de vibrations, d'analyse harmonique. Grâce à cette dernière notamment, n'importe quel signal variable dans le temps peut se décrire par une composition de fonctions trigonométriques.

Cette harmonie est exprimée sous une forme mathématique, plus souvent géométrique que musicale conformément au programme que Galilée propose dès 1623 dans *Il Saggiatore* (*L'Essayeur*). «Or [l'Univers] est écrit en langue mathématique, et ses caractères sont les triangles, les cercles et autres figures géométriques, sans lesquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot, sans lesquels on erre vraiment en un labyrinthe obscur». La physique post-newtonienne oscille en fait entre une conception purement mécaniste et une vision plus harmonique. Cette hésitation rappelle un antagonisme évoqué par Héraclite, selon lequel l'harmonie émise par la lyre résultait d'une lutte entre la tension des cordes et le bois.

La vision harmonique possède à son actif quelques-unes des synthèses fondatrices de la physique : après les tentatives géométriques et musicales de Kepler, il y eut la formule empirique de Titius-Bode, établie à la fin du XVIII^e siècle, qui décrivait la distance des planètes au Soleil par une suite harmonique : la Terre est à $0,4 + 0,3 \times 2^1$, soit une unité astronomique du Soleil, Mars en est à $0,4 + 0,3 \times 2^2$ unités astronomiques, etc. Autre exemple, au XIX^e siècle, la classification des raies spectrales de l'atome d'hydrogène en fonction de ses fréquences vibratoires fut initialement proposée par le Suisse Johan Balmer, puis reprise par le Suédois Johannes Rydberg. Ils découvrirent que les fréquences des raies d'émissions (qui résultent d'une désexcitation de l'atome) s'expriment par une formule unique qui faisait intervenir des nombres entiers, à la manière des intervalles musicaux. Aujourd'hui, cette «harmonie» spectrale s'explique bien dans le cadre de la mécanique quantique : les niveaux d'énergie des électrons d'un atome étant discrets et non continus, ils peuvent être mis en correspondance avec des nombres entiers

L'harmonie secrète du monde prend aujourd'hui le nom de symétrie. La physique contemporaine utilise en effet les symétries de la géométrie moderne, c'est-à-dire l'invariance de certaines figures ou objets mathématiques par des transformations mathématiques (des groupes de symétries), pour décrire, classifier, unifier les particules élémentaires et leurs interactions, ainsi que les modèles d'Univers dans son ensemble. Platon ou Kepler ne faisaient rien d'autre. La théorie des groupes, l'outil mathématique moderne qui permet

d'exprimer les symétries, a seulement élargi la palette des symétries utilisables : au lieu d'utiliser les symétries simples de la sphère ou des polyèdres réguliers (invariance par des rotations continues ou discontinues), les physiciens utilisent des symétries plus complexes (groupe d'inva-

riance de matrices, groupes cristallographiques, etc.), mais qui ouvrent de nouvelles perspectives. C'est avec ces groupes que sont décrits les comportements des particules, que sont développées la théorie quantique des champs, les théories de jauge ou la théorie des supercordes.



Scivias Codex Illuminatus, Monastère de Rudesheim

2. Dans ses *Divines harmonies*, Hildegarde de Bingen (1098-1179), abbesse du monastère des Bénédictines de Rudesheim, décrit sa musique comme un moyen de saisir la joie et la beauté originelle du paradis. Cette miniature extraite du *Scivias* (*Connaît le chemin*) illustre la conception de la mystique rhénane, selon laquelle l'homme est, dès sa naissance, en accord symphonique avec le ciel.



3. Dans *Harmonices Mundi*, œuvre majeure de Kepler, l'astronome expose sa troisième loi selon laquelle les carrés des temps des révolutions sidérales sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites. Kepler associe à chaque planète non plus une seule note, comme c'était le cas avec des orbites circulaires, mais plusieurs notes, déterminées par la variation de la vitesse sur l'orbite elliptique. Pour mieux se convaincre de sa trouvaille, Kepler note que «La Terre chante mi, fa, mi afin que tu conjectures, à partir des syllabes, que la misère et la famine prévalent dans notre domicile».