

PUBLICATION

de

L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE DE STRASBOURG

Série

"Astronomie et Sciences Humaines"

n° 13

1996

Editeur : David VALLS-GABAUD - Observatoire astronomique de Strasbourg - 11,
rue de l'Université - 67000 Strasbourg, France - *Fax* : (33) 88 15 07 60

Directeur de Publication : Daniel EGRET - Observatoire astronomique de Strasbourg

Les volumes de la Série "*Astronomie et Sciences Humaines*" des **Publications de l'Observatoire de Strasbourg** sont disponibles par abonnement payable d'avance par chèque d'un montant de 100 FF (2 volumes par an), libellé à l'ordre de M. l'Agent Comptable de l'Université Louis Pasteur et envoyé à Mme Hamm M. - Observatoire astronomique de Strasbourg - 11, rue de l'Université - 67000 Strasbourg

Table des Matières

Editorial

Valls-Gabaud D. - Erny P.

22ième Réunion

La Grande Lunette de Meudon DOLLFUS A.	1
L'Harmonie des Sphères PROUST D.	13
Les Cadrons Solaires en Alsace - le vrai, le faux et l'aberrant FLORSCH A.	45

21ième Réunion

L'Univers, de l'Antiquité à nos jours ANDRILLAT H.	59
Les Réunions Salmantines d' <i>Astronomie dans la Culture</i> JASCHEK C.	89

20ième Réunion

Réflexions Epistémologiques sur le Temps ou les Temps BECKER Ch.	95
---	----

19ième Réunion

Les Rythmes Biologiques : de la Biologie Moléculaire au Comportement CANGUILHEM B.	113
---	-----

INDEX	125
-------	-----

Editorial

Ce 13ème volume de la *Série Astronomie et Sciences Humaines* des **Publications de l'Observatoire de Strasbourg** contient le recueil d'exposés faits lors des Réunions N° 22 (26 Novembre 1996), N° 20 (24 Novembre 1995).

Ces réunions ont été organisées conjointement par le Pr. P. Erny (Institut d'Ethnologie, Université des Sciences Humaines de Strasbourg) et le Dr D. Valls-Gabaud (Observatoire de Strasbourg, Université Louis Pasteur). Les frais d'organisation ont été couverts grâce à une aide financière de l'*Université de Strasbourg II* et de l'Association *Les Amis des Universités de l'Académie de Strasbourg*. La publication et l'édition de ce volume a été assurée par l'Observatoire de Strasbourg grâce à une subvention de l'Université Louis Pasteur et du Conseil général du Bas-Rhin, et aux cotisations des abonnés.

Nous remercions Mme Hamm pour la saisie de certains textes au scanner, pour la mise en page des articles et l'excellente présentation de ce volume, ainsi que l'imprimerie de l'Observatoire pour le tirage off-set.

D. VALLS-GABAUD - P. ERNY

La Grande Lunette de Meudon

DOLLFUS Audouin
Observatoire de Meudon

LA GRANDE LUNETTE DE MEUDON¹

Audouin DOLLFUS



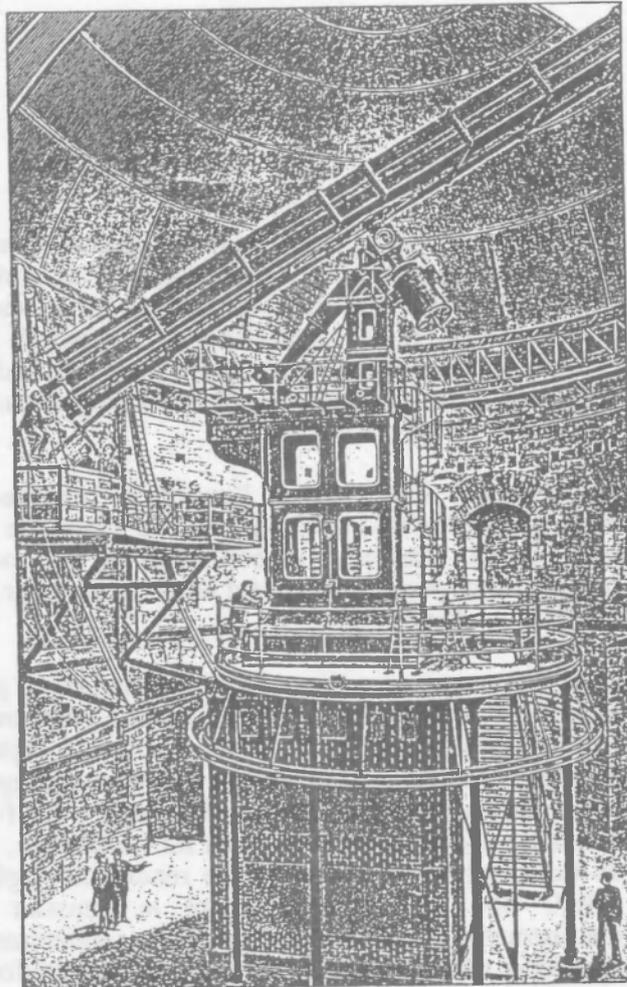
La terrasse de Meudon offrit aux prussiens, lors du siège de Paris de 1870, un site remarquable pour la surveillance de la capitale et pour la disposition de pièces d'artillerie capables de bombarder à vue la ville assiégée. Par sa position sur les lieux, en léger retrait, le Château Neuf, construit en 1706 par l'architecte Jules-Hardouin Mansart pour le grand Dauphin, fils aîné de Louis XIV, parut tout indiqué pour abriter la logistique, la poudre et les munitions alimentant les pièces d'artillerie.

Le 28 janvier 1871, jour de l'armistice, la demeure était encore intacte mais deux jours plus tard, le 31 janvier au matin, le Château prit feu. Les deux ailes furent détruites, le contrebas et le corps central parurent seuls récupérables. Aucun projet réel ne s'articula pour justifier une remise en état ; on parla de démolition.

C'est alors que se manifesta un personnage d'un grand caractère, énergique et réalisateur, Pierre Jules César Janssen. Astronome de grande réputation, membre de l'Académie des Sciences, il était déjà bien connu par ses travaux de spectroscopie, ses recherches sur l'état physique du soleil, ses lointaines et courageuses missions à travers le monde pour l'observation des éclipses de soleil. Sa sortie de Paris assiégée fut remarquée, le 2 décembre 1870, à bord de l'aérostat le "Volta", pour se rendre en Algérie observer une éclipse de soleil. Son tempérament ardent le poussait à doter la France d'un établissement de recherche spécifique, entièrement consacré à l'Astronomie Physique, cette science, alors nouvelle, qui se donnait pour but l'analyse des propriétés des corps célestes. Les premières recherches dans ce domaine voyaient déjà le jour dans nos pays voisins, en Italie notamment, en Angleterre, en Allemagne, en Amérique surtout. Les compétences existaient en France mais, à l'Observatoire de Paris, l'autorité écrasante de son directeur, Urbain Le Verrier, orientait autocratiquement toutes activités vers la

¹ Publié dans " Bulletin de la Société des Amis de Meudon" - N° 199 (1993)

seule mécanique céleste. Soucieux de valoriser, au bénéfice de notre pays, la nouvelle branche de la science que l'on appelle maintenant l'Astrophysique, le Ministre de l'Instruction Publique, Victor Duruy, chercha à doter la France d'un "Observatoire d'Astronomie Physique", dont le directeur devait être Jules Janssen.

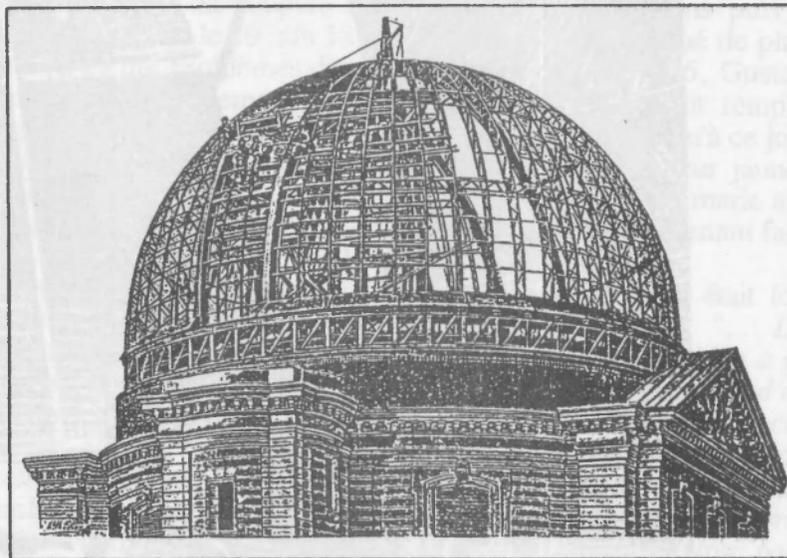


Lunette astronomique de J. Janssen, membre de l'Institut, directeur de l'Observatoire d'Astronomie Physique à Meudon, (d'après une photographie).

En 1869 déjà, une option porta sur le pavillon de Breteuil à Sèvres mais la guerre franco-prussienne ruina ce projet. Après la guerre, en 1874, Janssen se vit proposer le choix entre deux sites, le Château de la Malmaison ou le parc de la Terrasse de Meudon. Ce dernier site convenait beaucoup mieux, il fut retenu et, en 1876, affecté à cette destination.

Janssen s'installa alors dans les grandes écuries et les communs, à droite de l'entrée de la terrasse, tandis que le Château Neuf, à l'autre bout de la terrasse, restait en ruines. Le corps central, cependant, était sauvable et se prêtait bien à l'installation d'un grand instrument d'observation astronomique. Des murs circulaires pouvaient supporter une coupole d'observation de grande dimension, en remplacement de la toiture entièrement détruite. Cette perspective donnerait au Château historique une destinée prestigieuse, bien dans la lignée des utilisations antérieures de chacun des deux châteaux et de la terrasse, consacrés, depuis la Révolution, aux recherches et techniques avancées.

Cette nouvelle affectation justifia et entraîna la préservation des restes et la remise en état. En 1878, à la rentrée des Chambres, un projet de loi fut voté pour affecter les ruines du Château Neuf à Jules Janssen, chargé à lui de les préserver de la destruction et d'y faire placer un instrument de recherche scientifique unique : la plus grande lunette astronomique d'Europe, l'une des plus grandes du monde. Ce qui fût fait.



Charpente de la grande coupole tournante de l'Observatoire de Meudon en cours de montage en 1892.

Les affaires, cependant, ne furent pas simples à mener. Les ressources financières ne purent être affectées au niveau nécessaire. Jusqu'en 1906, le personnel scientifique de l'Etablissement nouvellement créé, le premier en France exclusivement consacré à l'Astronomie Physique, ne put dépasser deux astronomes. Les réparations sur le bâtiment étaient considérables. Le projet dut être étalé, la plus grande lunette d'Europe dût attendre près de vingt ans sa mise en service. Jules Janssen s'en justifia, en temps utile, devant l'Académie des Sciences (séance du 10 juin 1895) : "... Si cette création a été

En 1898, Henri Deslandres, avant de devenir Directeur de l'Observatoire, découvrit dans l'amas d'Hercule M-13 et celui des Chiens de Chasse M-3, fait nouveau, des étoiles d'éclat variable. Les planètes Mars et Jupiter se révélèrent avec des grossissements que la puissance de l'instrument permit de pousser à des valeurs inusitées. G. Millochau élucida la vraie nature des "canaux" que, d'Amérique, on avait cru observer à la surface de la planète Mars.

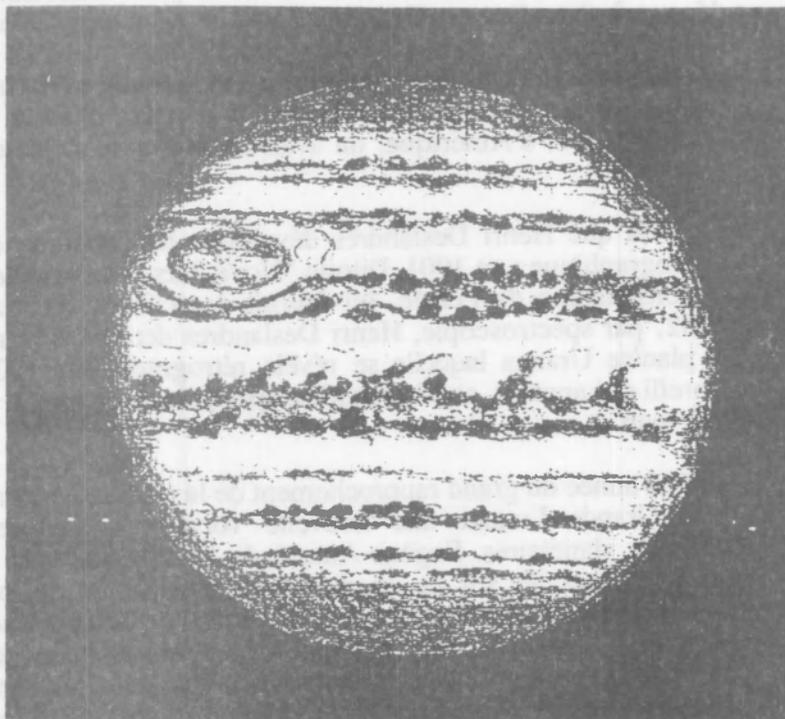
C'est là que Henri Deslandres développa la technique de la spectroscopie photographique ; en 1901, l'étoile "Nova Persei", nouvellement apparue dans la constellation de Persée, lui fournit des clichés spectraux révélateurs. En 1902, par spectroscopie, Henri Deslandres détermina le mode de rotation de la planète Uranus laquelle se révéla rétrograde. En 1903, c'est la comète Borelli qui apparut, aussitôt étudiée spectroscopiquement. Tout cela était bien nouveau.

1909, l'année du grand rapprochement de la planète Mars avec la Terre, offrit à la Grande Lunette une nouvelle vocation, l'analyse télescopique des surfaces planétaires. Eugène Antoniadi, l'astronome grec installé à Meudon, découvrit sur le sol de la planète une myriade de petites taches qu'il cartographia. Il confirma le caractère illusoire des prétendus "canaux". Son ouvrage "La planète Mars" fait encore à ce jour autorité ; son planisphère des configurations martiennes sert toujours de base aux travaux de la NASA pour l'exploration de Mars avec les sondes spatiales. Antoniadi, avec la grande lunette, observa toutes les planètes de 1909 à 1939, pendant trente ans.

Sur les planètes aussi, de 1922 à 1927, Bernard Lyot utilisa son "polarimètre à franges". Là, il y a marque de génie. En quelques années, il put établir des connaissances nouvelles sur la texture du sol de la Lune, la surface de Mercure, les phénomènes dans l'atmosphère de Mars, la nature des nuages de Vénus, les propriétés des anneaux de Saturne. Les résultats polarimétriques de Lyot, combinés avec les observations visuelles de Antoniadi, l'une et l'autre de retentissements mondiaux, firent de la grande lunette l'instrument hors pair pour l'exploration télescopique des planètes du système solaire.

En 1934, l'apparition dans la constellation d'Hercule de la Nova Herculis fut aussitôt mise à profit par Henri Camichel qui put replacer au foyer de la grande lunette le spectrographe de Deslandres. Les spectres recueillis furent d'autant plus importants que, peu après, apparut, à l'improviste également, une autre étoile explosive, Nova Lacertae. Les comparaisons spectrales sont à la clé des résultats que Charles Bertaud put établir sur la nature de ces étoiles qui explosent.

De tels travaux spectroscopiques furent repris et développés, après la dernière guerre, par Madame Renée Herman, également astronome de l'Observatoire, avec un spectrographe spécialement construit et toujours conservé, bien proche de nos instruments modernes.

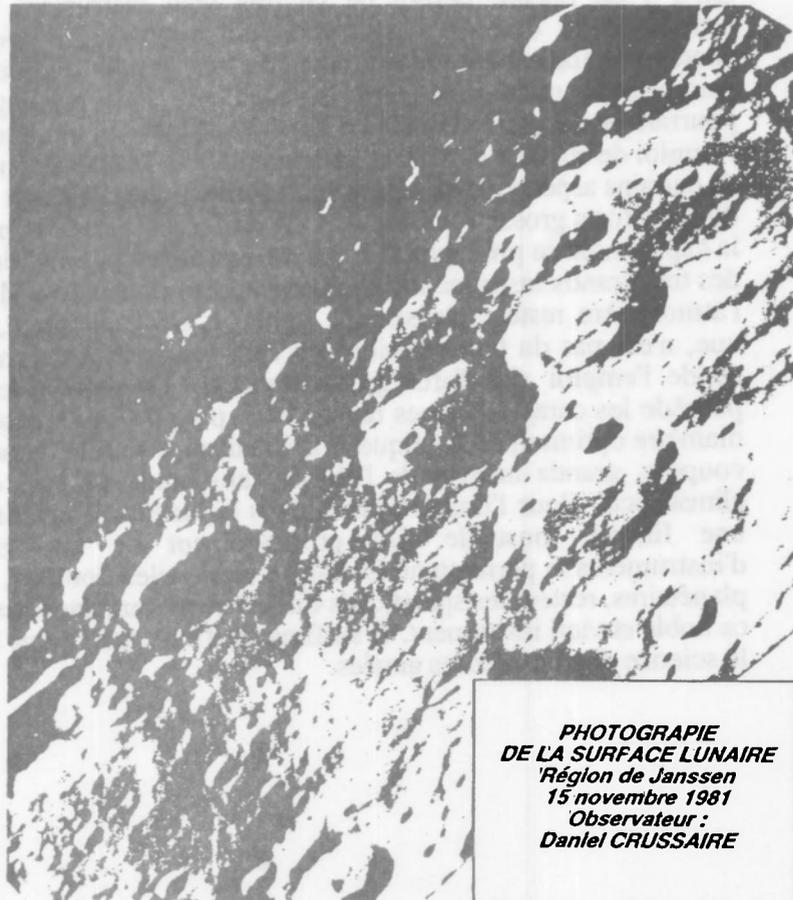


Jupiter dans la Grande lunette de Meudon, le 6 Mars 1966, à 18 h 13 m (temps universel). Jean Focas à réalisé ce dessin 13 ans avant le survol de Jupiter par la sonde spatiale Voyager.

En 1956, sous l'impulsion d'André Danjon, alors Directeur de l'Observatoire, Paul Muller, astronome de l'Observatoire de Strasbourg, vint s'installer à Meudon avec la charge de moderniser l'accès à la lunette, assuré, depuis l'origine, par la plateforme mobile solidaire de la coupole. Le but était de remplacer celle-ci par un plancher mobile sur toute la surface. D'un emploi plus commode, cette nouvelle disposition autorisait, en outre, un aménagement de locaux dans l'espace laissé libre sous la coupole. En réduisant les volumes d'air autour de l'instrument, cette transformation assurait de plus un équilibre thermique plus rapide, améliorant encore la finesse des images donnée par l'instrument. Les travaux, exécutés par les Forges et Ateliers du Creusot (Schneider), furent achevés en 1964.

Alors l'installation, adaptée de la sorte, fut mise à profit par Paul Muller pour conduire un vaste programme de mesures systématiques des distances et positions de compagnons d'étoiles doubles. La masse des étoiles, donnée fondamentale pour l'astrophysique stellaire, repose sur de telles mesures. Mais de telles déterminations sont délicates ; il y faut l'association d'une installation astronomique hors pair et d'un talent d'observation particulier.

Tout s'y prêtait, la grande lunette de Meudon se révéla parmi les plus performantes pour cette utilisation difficile ; l'astronome Paul Muller était le spécialiste connu comme le plus qualifié. Au cours des dix années d'utilisation intense de la lunette sur ce programme, de 1965 à 1975, Paul Muller put recueillir 987 mesures sur 449 couples stellaires et en déduire de nombreuses masses d'étoiles.



**PHOTOGRAPHIE
DE LA SURFACE LUNAIRE
Région de Janssen
15 novembre 1981
Observateur :
Daniel CRUSSAIRE**

Grande lunette de Meudon.

En même temps, et jusqu'à nos jours, la lunette continue dans sa vocation d'analyse des surfaces planétaires. Elle le fait conjointement avec les observations de planètes développées depuis le Pic-du-Midi, dans les Pyrénées, et compte tenu des besoins de l'exploration planétaire par les sondes spatiales. Avec le grec Jean Focas, avec le japonais Shiro Ebisawa, nous avons repris et largement développé l'analyse polarimétrique des surfaces planétaires. Plusieurs centaines de nuits d'observation, plus d'un

millier de mesures ont révélé ou précisé les propriétés physiques à la surface des corps planétaires. Les cartographies visuelles et photographiques de l'aspect de Mars, notamment, conduites avec le concours des observateurs de la Société Astronomique de France, avec l'anglais R.J. McKim, l'italien M. Falorni, le japonais S. Ebisawa, ont placé sous surveillance les phénomènes dont les atmosphères des planètes sont le siège.

Qu'il y ait encore besoin de ce très vieil instrument pour la recherche astrophysique de nos jours, voilà qui peut surprendre. L'astrophysique contemporaine est maintenant dotée de très grands télescopes implantés aux sommets de montagnes dans les meilleurs sites privilégiés du globe. On pourrait penser que l'écrasante supériorité de leur luminosité rend caduque l'emploi de ce vieil et centenaire appareil. Ce serait méconnaître la spécificité de certains aspects de la recherche astronomique : il s'agit là de l'astronomie dite des forts grossissements. Le ciel du bassin parisien, pollué et éclairé par la capitale, ne se prête plus à l'analyse des astres faibles, devenus le privilège des très grands instruments placés sur les cimes élevées. Mais, on le constate, l'atmosphère reste curieusement stable. L'environnement, sous ce point de vue, n'est pas du tout détérioré. Et cette propriété est fondamentale car, là, réside l'emploi des forts grossissements. La grande lunette de Meudon possède les caractéristiques recherchées pour la haute résolution angulaire : diamètre optimum de l'optique, combinaison à lentille, conditionnement de la coupole, grande hauteur de l'objectif au-dessus du sol, couvert végétal et climat local. Pour l'image formée dans la lunette, il en résulte bien souvent une finesse inusuelle. Un grossissement de 600 est courant, peu d'instruments le permettent. L'analyse des étoiles doubles, celle des surfaces planétaires, restent les spécificités difficilement remplaçables et le privilège de ce noble et vieil instrument. Il suffirait de l'entretenir pour qu'il serve encore la science de nombreuses années.

*

L'Harmonie des Sphères

PROUST D.
Observatoire de Meudon

L'Harmonie des Sphères

D. PROUST

L'astronomie est probablement la plus ancienne des sciences, la voûte céleste ayant attiré très tôt, à la fois par sa beauté et son mystère, le regard de l'homme. Dès l'instant où notre lointain ancêtre fut intellectuellement assez évolué pour pouvoir remarquer la régularité des phénomènes célestes, il y trouva une source de réconfort. Tous les jours le Soleil se levait et se couchait, les phases de la Lune se succédaient invariablement, et les mêmes étoiles réapparaissaient périodiquement. Cette persistance des mouvements fut à l'origine des premières lois qui permirent l'organisation des civilisations suivant les rythmes du ciel.

Ce repérage céleste demeurait cependant incomplet, il fallait aussi connaître cette Terre, sa forme et son histoire. Or la conception du monde s'établissait suivant les apparences: on peut, par exemple, marcher tout droit pour finalement aboutir au bord d'une mer qui s'étend à l'horizon, là où sans doute il n'y a plus rien! Il ne peut donc être question de rotondité de notre planète... D'autre part les étoiles se lèvent, "montent" puis "descendent" dans le firmament, pour se coucher jusqu'au lendemain. La Terre n'est donc rien d'autre qu'un disque plat, surmonté d'une cloche tournante portant les astres. Ceux-ci sont groupés en *constellations*, figures représentant approximativement les divinités. Les recherches archéologiques montrent que des conceptions à peu près identiques du monde se retrouvent d'une civilisation à l'autre.

Il faut attendre le VI^{ème} siècle avant notre ère pour que les premières théories issues de l'observation surgissent. Cette période marque, par rapport aux civilisations de la haute antiquité, une étonnante évolution intellectuelle. Nous assistons à une rapide émergence d'idées nouvelles, qui ne peuvent se contenter de l'observation béate de la nature. De grands esprits jalonnent cette époque: Thalès, Anaximandre et Pythagore en Grèce, Confucius et Lao Zeu en Chine, le Bouddha Gautama en Inde, Zoroastre en Perse, ainsi que le pharaon Néchao grâce à qui des marins effectuèrent le tour de l'Afrique. Tous ces personnages présentent un point commun: la beauté et l'harmonie du monde physique les impressionnaient profondément.

Progressivement on cherche à isoler les phénomènes naturels afin de les interpréter. On constate par exemple que la mer a un mouvement de flux et de reflux; d'autre part on connaît les phases et le mouvement de la Lune... Existe-t-il un lien entre ces deux phénomènes? Plus généralement, le monde est-il régi par une *théorie unitaire*? De cette recherche va naître l'idée d'*Harmonie des Sphères*.

Pythagore est probablement le premier à associer étroitement la musique et l'astronomie. Il emploie le mot *Cosmos* pour désigner un univers ordonné et harmonieux, et si de nombreux penseurs ioniens sont convaincus que l'harmonie fondamentale de l'Univers ne peut être perçue uniquement que par l'observation et l'expérimentation, Pythagore y ajoute les capacités d'analyse et de déduction.

Son intérêt pour la musique le pousse à définir la gamme qui porte son nom, suivant deux principes: il n'existe que sept intervalles entre les notes d'une gamme, et la somme de ces intervalles est égale à six tons. La fascination qu'exerce sur Pythagore les rapports numériques dans les harmonies musicales l'ammène à tenter d'expliquer de la même manière les autres phénomènes de la nature, y compris le cosmos, considéré comme un gigantesque instrument harmonique, d'origine divine. D'après lui, toutes les planètes (y compris le Soleil et la Lune) tournent autour de la Terre à des vitesses constantes, suivant des orbites obéissant aux mêmes rapports numériques que la gamme. Chacune d'elle produit un son, correspondant au *si* pour Saturne, *do* pour Jupiter, *ré* pour Mars, *mi* pour le Soleil, *fa* pour Mercure, *sol* pour Vénus, enfin *la* pour la Lune. Il est intéressant d'ailleurs de constater qu'une telle cosmologie musicale se retrouve dans les vieilles cultures orientales, principalement en Inde et en Chine: des liens communs semblent avoir unis des civilisations pourtant bien différentes.

La dualité entre l'harmonie et l'astronomie fut ainsi établie par l'école ionienne de Pythagore au VIème siècle avant notre ère. On peut se faire une idée assez précise de la musique antique en écoutant l'un des quinze fragments de musique grecque qui nous soient parvenus, comme *l'Hymne au Soleil* de Mesomède de Crète (130 avant J.C.). Chaque note est émise seule, sans accompagnement harmonique (cette musique est dite *homophone*); l'*ambitus* de la mélodie (c'est la distance séparant la note la plus aigüe de la plus grave) est faible; enfin les notes appartiennent à une suite bien définie de sons (on dit que la musique est *modale*). Il s'en dégage vite un sentiment de monotonie, ainsi que de simplicité, peut-être en relation avec les instruments joués par les Grecs tels que la lyre, l'aulos ou le tambourin. Les principes acoustiques de Pythagore sont explicités dans *l'Institution Harmonique* de Boèce.

L'analogie semblant exister entre les intervalles musicaux et les espacements des planètes représente, pour Pythagore, le secret du monde. Voici ce qu'en dit un de ses premiers biographes, Hippolyte, en 440 avant J.C.:

"Pythagore affirmait que l'Univers chante et qu'il est construit selon les lois de l'harmonie. Il fut le premier à ramener les mouvements des sept corps célestes au rythme et à l'harmonie musicale".

Nous avons évoqué plus haut les images simples permettant aux civilisations primitives de se représenter le monde environnant; voyons maintenant comment les Grecs ordonnent le ciel. Pour l'école de Thalès, (fin VIIème - début VIème siècle avant notre ère), la Terre est un disque plat qui flotte sur l'eau, le tout surmonté d'une cloche d'air. Progressivement, cette notion évolue vers de nouvelles idées dont nous ne retiendrons que les deux suivantes: d'abord la Terre est considérée comme un corps céleste isolé dans l'espace, elle est au centre d'une sphère, la sphère céleste; ensuite, les planètes ne sont pas toutes à la même distance de la Terre. Les Grecs placent en effet les planètes à des distances inégales, posées sur des anneaux circulaires opaques.

Voici l'ordre adopté par Anaximandre, au 7ème siècle avant J.C.:

Terre - étoiles - Lune - planètes - Soleil

Les Grecs se sont surtout heurtés à un problème d'ordre; en l'absence de théorie, il ne peuvent faire appel qu'à une tradition fixant une hiérarchie fondée sur la mythologie. C'est pourquoi, un siècle seulement plus tard, l'école pythagoricienne adopte l'ordre suivant:

Terre-Lune-Soleil-Vénus-Mercure-Mars-Jupiter-Saturne-Fixes

Cicéron (106-43 avant J.C) donne une description du système astronomique généralement admis dans son temps:

"L'univers est composé de neuf cercles, ou plutôt de neuf globes qui se meuvent. La sphère extérieure est celle du Ciel, qui embrasse toutes les autres, et sous laquelle sont fixées les étoiles. Plus bas roulent sept globes, entraînés par un mouvement contraire à celui du ciel. Sur le premier cercle roule l'étoile que les hommes appellent Saturne; sur le second marche Jupiter, l'astre bienfaisant et propice aux humains; vient ensuite Mars, rutilant et abhorré; au-dessous, occupant la moyenne région brille le Soleil, prince, modérateur des autres astres, âme du monde, dont le globe immense éclaire et remplit l'étendue de sa lumière. Après lui viennent comme deux compagnons Vénus et Mercure. Enfin, l'orbe inférieure est occupée par la Lune, qui emprunte sa lumière à l'astre du jour."

Les anciens hésitèrent longtemps sur la place relative des trois corps, Soleil, Vénus et Mercure. Ils remarquent cependant que Vénus et Mercure "suivent" la course du Soleil sur l'écliptique (c'est le cercle imaginaire décrit par le mouvement apparent du Soleil sur le ciel), et que la révolution de chacune de ces deux planètes autour du Soleil a la même durée moyenne. Ainsi, chaque planète du système solaire possède sa propre "révolution sidérale", ce qui permet donc de décider de leur place respective: la Lune (27 jours), Mercure (88 jours), Vénus (224 jours), Mars (2 ans), Jupiter (12 ans), Saturne (30 ans).

Une fois cet ordre établi, il faut donner des distances. Or, avec la Lune et le Soleil, les Grecs connaissent sept planètes. La méthode va donc consister à deviner la loi des distances plutôt que de la calculer, suivant le principe de Pythagore. Etant donné que le monde est régi par le nombre

puisqu'il y a autant d'intervalles musicaux qu'il y a de planètes dans le ciel, il suffit donc de placer celles-ci suivant les rapports harmoniques.

Le Soleil joue un rôle majeur car il est "le coeur du Monde, source des âmes nouveau-nées" qui gouvernent tous les corps célestes. Il est Apollon Musagète, chef de chœur des Muses, dont la musique constitue l'Harmonie des Sphères.

Les sept planètes sont comme les sept cordes d'une lyre. En fixant la valeur du ton comme étant égale à la distance Terre-Lune, les pythagoriciens définissent ainsi la première échelle planétaire.

Platon met dans la bouche du Pamphylien Er, fils d'Arménios, un bien étrange récit... Il est vrai que celui-ci témoigne des choses que l'on ne peut connaître que dans l'au-delà, puisque Er vient de ressusciter d'entre les morts:

Lorsque pour les âmes sept jours s'étaient écoulées dans la prairie, il leur fallait s'en aller de là et, le huitième jour, se mettre en route. Quatre jours après, elles arrivaient en un endroit où elles apercevaient, tendue d'en haut à travers tout le ciel et de la terre, une lumière verticale, en manière de colonne, un peu comme un arc-en-ciel, mais plus éclatante et plus pure.

Ils arrivèrent à cette lumière après avoir poursuivi leur route tout un jour et là, au milieu de la lumière, ils virent, tendues depuis le ciel, les extrémités des liens qui la constituent, car cette lumière est ce qui assemble et lie le ciel, unissant sa révolution tout entière à la façon du bandage des trières. Ils virent, d'autre part, tendu à partir des extrémités, le fuseau de la Nécessité, par le moyen duquel la rotation est imprimée à toutes les révolutions...

...Et voici que, tandis que le fuseau tout entier tournait circulairement d'un mouvement uniforme, la révolution du tout comprenait la paisible révolution, en sens contraire de celle du tout, des sept cercles intérieurs; entre ceux-ci, c'était le huitième qui allait le plus vite; au second rang, avec une vitesse égale, venait le septième, le sixième et le cinquième; au troisième rang de vitesse, le quatrième, animé d'un mouvement rétrograde; au quatrième rang, le troisième, et au cinquième, le second. La rotation du fuseau se faisait sur les genoux de la Nécessité, les cercles étant surmontés chacun d'une Sirène qui en accompagnait la révolution, et qui émettait un unique son, c'est-à-dire une note unique, l'ensemble de ces huit sons donnant un accord consonant...

(Platon, *La République*, livre X)

Cet extrait peut être considéré comme le premier texte évoquant

véritablement l'Harmonie des Sphères. On trouve chez Plutarque quelques éclaircissements sur les connaissances harmoniques de Platon:

Après avoir montré que ce n'est ni par ignorance ni par inexpérience que Platon a rejeté tous les autres modes, mais bien parce qu'il les jugeait peu convenables au genre de gouvernement qu'il avait en vue, je vais faire voir qu'il était versé dans la science harmonique. Dans la création de l'âme du Timée, voici comment il montre qu'il avait étudié les mathématiques et la musique. "Après cela, dit-il, le démiurge remplit les intervalles doubles et triples en découpant dans la masse certaines parties qu'il inséra au milieu de ces intervalles, de telle sorte que dans chaque intervalle il y eût deux termes moyens". Ce préambule atteste de son expérience de l'harmonie, comme je vais le montrer immédiatement.

Il y a trois moyennes primordiales, d'où dérivent toutes les autres: l'arithmétique, la géométrique, l'harmonique. La première surpasse et est surpassée d'un nombre égal, la seconde d'un rapport égal, la troisième n'est équidistante ni par le nombre, ni par le rapport. Platon donc, voulant démontrer par les principes de l'harmonie l'accord des quatre éléments et la raison du concert mutuel qu'il existe entre ces composants si différents, a placé dans chacun de ses intervalles deux moyennes psychiques, conformément à la proportion musicale. En effet, la consonance d'octave, en musique embrasse deux intervalles moyens, dont je vais montrer la proportion. L'octave représente un rapport double, tel, par exemple, que celui de 6 à 12: c'est l'intervalle formé par l'hypate des moyennes (mi 1) et la nète des disjointes (mi 2). Ainsi, 6 et 12 étant les termes extrêmes, l'hypate des moyennes aura le nombre 6, la nète des disjointes le nombre 12. Il reste à prendre deux nombres intermédiaires tels que les nombres extrêmes soient avec eux, l'un en raison sesquitière ($4/3$), l'autre en raison sesquialtère ($3/2$). Ces nombres sont 8 et 9; car 8 est sesquitière de 6; 9 en est sesquialtère; voilà pour un des extrêmes. L'autre terme extrême, 12 est sesquitière de 9, sesquialtère de 8. Ces deux nombres tombant donc entre 6 et 12, et l'intervalle d'octave se composant de la quarte et de la quinte, il est clair que la mèse (la) aura pour expression numérique 8, et la paramèse (si) 9. Ceci posé, l'hypate sera à la mèse comme la paramèse à la nète des disjointes. Car d'abord, de l'hypate des moyennes (mi 1) à la mèse (la), il y a un intervalle de quarte, comme entre la paramèse (si) et la nète des disjointes (mi 2). La même relation se trouve entre les nombres: car 6 est à 8 comme 9 est à 12, et encore 6 est à 9 comme 8 est à 12, puisque 8 et 12 sont respectivement sesquitières de 6 et 9, tandis que 9 et 12 sont sesquialtères de 6 et de 8.

Ce que je viens de dire suffira pour démontrer quel zèle et quelle expérience Platon avait apportés dans l'étude des mathématiques.

(Plutarque, *De la musique*, chapitre 22)

Le mythe ainsi construit connaît d'ailleurs une grande fortune; il est repris par divers auteurs, dont Cicéron dans le *Songe de Scipion*:

Je regardais ces mondes avec stupeur et, quand je me ressaisis: "qu'est-ce encore, dis-je, que ces sons à la fois si forts et si doux qui remplissent mes oreilles? -L'impulsion et le mouvement des sphères inégalement distantes les unes des autres, dit-il, mais de façon que les intervalles soutiennent entre eux des rapports rationnels, produisent ces sons différents et, les plus aigus se combinant aux graves, des accords harmonieusement variés en résultent. De si grands corps en effet ne se meuvent pas en silence et, en vertu d'une loi naturelle, les sphères extrêmes émettent d'un côté des sons graves, de l'autre des sons aigus. Ainsi le ciel, mouvant porteur d'étoiles, plus rapide que les autres sphères dans sa révolution, rend un son aigu et perçant comme un cri, la sphère lunaire donne au contraire le plus grave. Quant à la terre fixée au neuvième rang, au centre de l'univers, elle est, je le répète, toujours immobile, tandis que les huit sphères mobiles dont deux ont même impulsion produisent sept sons différents; ce nombre en presque toute matière a une signification essentielle. Des hommes éclairés ont, avec des cordes ou des accents humains, imité ces harmonies et, par là, mérité que ce lieu céleste où nous sommes se rouvrit pour eux comme pour les grands esprits qui, dans une vie humaine, se sont appliqués à l'étude des choses divines. Remplies comme elles le sont du bruit de l'univers, vos oreilles se sont assourdies, car il n'y a point de sens plus émoussé que l'ouïe, et c'est ainsi qu'en cet endroit nommé Catadupa, où le Nil se précipite de hautes montagnes, le fracas incessant fait que les hommes ne perçoivent plus les sons. Quant à la musique produite par la révolution rapide du système des mondes, le bruit même en est tel que les oreilles humaines sont incapables de l'entendre, tout de même que vous ne pouvez regarder le soleil en face et que ses rayons triomphent de votre acuité visuelle et de vos sens.

(Cicéron, *La République*, livre VI, XVIII)

Outre Cicéron, le mythe se retrouve dans les textes de Pline l'Ancien, Cassiodore, Petrone, avant que Boèce, dans *De institutione musicae*, ne codifie le dogme en divisant la musique en trois classes. Il y a d'abord la musique instrumentale proprement dite, ensuite la musique humaine, c'est-à-dire la voix, mais aussi la danse et la beauté du corps, l'érotisme. Enfin vient la musique des mondes, l'harmonie céleste, ou encore le merveilleux de la machine céleste.

Boèce a d'ailleurs repris la construction de Pythagore, attribuant cette fois à la Lune à la note *ré* (au lieu du *la* initial), à Mercure le *do* (au lieu du *fa*) etc..., ce qui donne la gamme descendante suivante:

Lune	ré
Mercure	do
Venus	si
Soleil	la
Mars	sol
Jupiter	fa
Saturne	mi

Il est d'ailleurs intéressant de voir que l'on peut expliquer par la musique l'ordre des jours de la semaine. En effet, ces jours sont consacrés, depuis le troisième siècle de notre ère aux sept astres errants, dans un ordre apparemment arbitraire. Or, si l'on se réfère à la gamme de Boèce (voir ci-dessus), on a:

Lundi	Lune
Mardi	Mars
Mercredi	Mercure
Jeudi	Jupiter
Vendredi	Vénus
Samedi	Saturne
Dimanche	Soleil

Le jeu est simple: en remplaçant chaque jour par sa "note" (suivant le tableau de Boèce), la semaine se déroule suivant une série de quintes parallèles descendantes.

Au fur et à mesure que la conception de l'Univers évolue en se perfectionnant, la musique elle-aussi évolue. Grâce aux recherches en matière de facture instrumentale nous pouvons suivre les progrès des instruments à cordes pincées, comme la lyre, qui étaient les plus couramment utilisés.

Depuis la lyre d'Hermès à quatre cordes, on avait vu apparaître la lyre de Terpandre dont les sept cordes correspondaient à la jeune théorie pythagoricienne. Avec ce nouvel instrument, Terpandre inove en matière

d'écriture musicale et rythmique: les auditeurs de Sparte furent très certainement surpris d'entendre cette musique "contemporaine", où chaque accord sonnait de manière inhabituelle. L'évolution continue lorsqu'une huitième corde est ajoutée, celle-ci attribuée au zodiaque. Son rôle astrologique est essentiel car le zodiaque lie le signe de naissance d'un individu (ou même la date de conception chez les babyloniens), au déroulement de son existence. Cette augmentation du nombre des cordes enrichit les sons et permet à la musique d'évoluer. La Terre elle-même devant être prise en compte, une neuvième corde voit le jour. Cependant, un problème surgit: pour pouvoir produire des sons, la Terre doit être mobile. C'est ainsi que naît le premier modèle non *anthropocentrique* appelé *modèle de Philolaos*, où la Terre n'occupe plus le centre du Monde, mais tourne en un jour autour d'un feu central autour duquel tourne également une anti-Terre, ou *Antichthone*, planète inconnue qui nous est cachée, ainsi que le feu central, puisque nous habitons sur la face de la Terre constamment tournée vers l'extérieur. Le texte suivant souligne le souci constant de Philolaos d'un monde où règnent l'ordre et l'harmonie, tout en rappelant les principes de la gamme de Pythagore:

En ce qui concerne la nature et l'harmonie, voici ce qu'il en est: l'essence des choses est éternelle et la nature elle-même demande pour être connue une connaissance divine et non pas humaine, si du moins toutes les choses existantes et l'objet possible de nos connaissances ne consistent pas dans les apparences qui revêtent les choses dont se compose le cosmos, tant limitées, qu'illimitées. Mais puisque ces deux principes (limité et illimité) ne sont réellement ni égaux ni apparentés, il aurait été impossible de construire avec eux un cosmos, si l'harmonie ne s'y fût pas ajoutée, de quelque manière que ce fût. Les choses égales et

apparentées n'auraient jamais eu besoin de l'harmonie, tandis que les choses inégales, qui ne sont pas apparentées et qui ne sont pas ordonnées d'une égale manière, doivent être reliées nécessairement par cette harmonie, pour constituer un cosmos (un monde bien ordonné).

(Philolaos)

Cette quête d'harmonie permet pour les Grecs d'élever la musique au même niveau que l'arithmétique, la géométrie et l'astronomie, comme l'écrit Cassiodore vers 550:

...La mathématique, qu'en latin nous pouvons appeler philosophie doctri-

nale, est la science qui considère la quantité abstraite. En effet est dite abstraite la quantité au moyen de laquelle l'entendement laisse de côté la matière ou les autres accidents, par exemple le pair et l'impair ou d'autres concepts de ce genre que nous faisons intervenir seulement dans le raisonnement. Elle se divise ainsi; division de la mathématique en:

Arithmétique

Musique

Géométrie

Astronomie.

(Cassiodore, *Des arts et des sciences relevant des études libérales*, chapitre 3.)

L'ensemble de ces quatre disciplines, intitulé le *quadrivium*, a constitué l'essentiel de l'enseignement classique supérieur jusqu'à la fin du Moyen-Âge.

La conception même d'un lien entre les planètes et la musique ne peut avoir de sens que par une bonne approche de l'acoustique. Or, dans le domaine de la science des sons, les Grecs n'ont produit que deux traités majeurs: *la Division du canon* d'Euclide et *les harmoniques* de Ptolémée. Dans le premier, nous retrouvons l'affirmation qui a valeur de postulat: le son n'est émis que s'il y a mouvement, la hauteur du son augmentant avec le nombre des mouvements, le nombre de chocs produits dans un temps donné. Dans le second, les différentes théories musicales sont soigneusement analysées, et comparées à l'Harmonie des Sphères, conformément aux théories pythagoriciennes. Ptolémée insiste particulièrement sur les relations *entre certains mouvements des astres et différentes propriétés caractéristiques des sons* (chapitres 10 à 12), *entre le tétracorde et le système solaire* (chapitre 13), *entre les premiers nombres du système parfait et les premières sphères du monde* (chapitres 14 et 15), enfin *entre les propriétés des planètes et celles des sons*. Les textes d'Euclide et de Ptolémée montrent d'ailleurs les difficultés soulevées par l'opposition entre le rationalisme et l'empirisme.

Censorin est un astrologue romain, qui en 238, publie un ouvrage *De die natali*, dédié à son patron Cerulius. Il reprend dans les chapitres 9-12 les doctrines de Pythagore, mélangeant toutefois des considérations portant à la fois sur l'obstétrique et sur la musique! Il revient cependant dans le chapitre 13 à des questions concernant le ciel, les astres et les mesures célestes. On trouve en particulier, pour les distances astronomiques calculées en tons musicaux,

les valeurs suivantes:

De la terre à la lune.....un ton
De la lune à Mercure.....un demi-ton
De Mercure à Vénus.....un demi-ton
De Vénus au soleil.....un ton et demi

Du soleil à Mars.....un ton
De Mars à Jupiter.....un demi-ton
De Jupiter à Saturne.....un demi-ton
De Saturne aux fixes.....un demi-ton

(Censorin, *De die natali*, chapitre 13)

On remarquera que de la Terre au Soleil, il y a trois tons et demi, soit une quinte, tandis que du Soleil aux fixes (étoiles), il n'y a que deux tons et demi, soit une quarte; on retrouve cependant les six tons (une octave) pour aller de la Terre aux étoiles.

En 384, un grand nombre des anciens "modes", dont ceux d'Aristoxène, et quelques variations introduites par Ptolémée sont revues et classées par saint Ambroise. Plus tard, les Wisigoths en Espagne, les Byzantins dans le monde oriental, et à l'occident les promoteurs de la tradition grégorienne, les adoptent en les enrichissant. Ailleurs, parmi d'autres formes musicales, on voit apparaître les gammes à cinq notes des modes dits *pentatoniques*.

Mais la recherche d'harmonie n'est pas l'apanage du monde hellène. De leur côté, les bouddhistes imaginent au septentrion une montagne encore plus élevée que l'Himalaya qu'ils appellent *le mont Mérou*. Ce sommet, haut de 135000km est la demeure de leurs dieux; centre de l'Univers, il représente l'axe vertical du cosmos ovoïde, entouré de sept arches de montagnes, autour desquels tournent la Lune, le Soleil et les planètes. Entre le septième anneau et un huitième se trouve la Terre et ses continents. Sur cette montagne, comme le relatent les textes sacrés:

...il coule des fleuves d'eau douce et l'on voit de belles maisons d'or, qui sont le séjour des divinités, les Deva, de leurs musiciens, les Gandharva, et de leurs danseuses, les Apsaras...

Sautons quelques siècles pour arriver au Moyen-Âge. Le décor harmonique de l'antiquité change considérablement. Les neuf cordes de la lyre céleste augmentent, jusqu'à quinze, pour expliquer, au-delà des planètes, le Ciel, les Forces, les Puissances, les Principautés, les Dominations, Trônes, Chérubins, et autres Séraphins, pour aboutir à Dieu. A l'autre extrémité, il y a la Terre qui, ayant retrouvé son immobilité au centre du monde, ne peut participer à l'harmonie générale et conserve le "*silencium*".

Le musicographe grec Alypius utilise au IV^{ème} siècle le clavier de la cithare à 18 cordes pour établir un système de sphères célestes d'une extrême complexité; son contemporain Macrobius étend le système harmonique à quatre octaves et demie.

Tout au long du Moyen-Âge, depuis Boèce, et à travers Jean de Murs, Philippe de Vitry, Hucbald de Saint-Amand et Guy d'Arezzo, l'étude de l'harmonie est une partie intégrante des mathématiques. Mais si anthropocentrisme et harmonie sont les principes avec lesquels l'église étend son autorité, afin de montrer que l'oeuvre divine "tourne rond" et que l'homme en est le centre, il convient de célébrer les louanges du créateur par le chant. L'accord entre la théorie et la pratique est ainsi réalisé de manière particulièrement féconde, d'abord par la dénomination des notes *ut.. ré.. mi.. fa.. sol.. la.. si:*

Ut queant laxis
Resonare fibris
Mira gestorum
Famuli tuorum
Solve polluti
Labii reatum
Sancte Joannes.

et ensuite par l'introduction de la mesure dès le XII^{ème} siècle: c'est là l'héritage le plus marquant du *quadrivium*. Le plain-chant est abandonné au X^{ème} siècle au profit de l'*organum* consistant en l'exécution de la même mélodie par deux voix distantes d'une quarte ou d'une quinte. Ensuite vient le *déchant*, stricte contrepoint note contre note, pour aboutir à la polyphonie "moderne" à travers Guillaume de Machaut au XIV^{ème} siècle, puis Clément Janequin qui parvient en outre à intégrer les bruits de la vie dans ses compositions.

L'hymne du XII^{ème} siècle *Naturalis concordia vocum cum planetis* est l'oeuvre musicale la plus ancienne connue, inspirée de l'Harmonie des Sphères. On ignore le nom du compositeur; le manuscrit, conservé à la Bibliothèque Nationale, utilise une gamme planétaire de deux octaves, la première consacrée

aux astres et la seconde à la zoologie des bienheureux (chérubins, séraphins...).
La gamme utilisée diffère de celle de Boèce:

Ciel	Saturne	Jupiter	Mars	Soleil	Vénus	Mercure	Lune	Terre
fa	mi	ré	do	si	la	sol	fa	silentium!

L'anthropocentrisme et l'harmonie représentent donc les deux idées maitresses institutionalisées par l'Eglise afin de montrer la perfection de l'oeuvre divine. Elle va également puiser au travers des textes et des événements célestes tout ce qui peut renforcer ce dogme.

Cette harmonie céleste est évoquée, à propos de Vénus, dans un splendide texte de Dante:

Le monde, dans son aveuglement croyait que la belle Cypris répandait le fol amour par ses rayons, tournoyant dans la troisième sphère. Et de celle-là par laquelle je commence ce chant, il tirait le nom de cette étoile que le Soleil contemple, tantôt en la suivant, tantôt en la précédant.

Je ne m'aperçus pas que je montai en elle, mais je sus que je m'y trouvais, car je vis devenir, ma Dame, plus belle.

Et comme dans la flamme ce corps étincelle,

Et comme dans la voix se distingue la voix,

Quand l'une est immobile et que va et vient l'autre,

Je vis dans cette lumière d'autres luminaires qui tournoyaient plus ou moins rapides selon l'éternité de leur vision...

...Et du milieu de celles qui d'abord m'apparurent, je lançai un hosanna qui me laissait depuis le désir de toujours l'entendre.

L'une d'elles alors s'approcha plus près et me dit: "toutes nous voici prêtes à te plaire autant que nous le pouvons. Nous tournons ici selon les principes célestes de la révolution d'un seul tournoiement, d'une seule soif, auxquelles tu as déjà dit dans le Monde: "vous dont l'intelligence fait tourner le troisième ciel", et nous sommes si pleines d'amour que pour te plaire, un peu de repos ne nous paraîtra pas moins doux..."

(Dante, *Le Paradis*, chant VIII)

Ronsard, de son côté, évoque la "*Céleste Harmonie du Ciel*", jouant sur le sens double du terme:

"...Tu fais si douce et plaisante harmonie,

*Que nos luths ne sont riens, au prix des moindres sons,
Qui résonnent là-haut de diverses façons..."*

(Ronsard, Premier livre des Hymnes, *Du Ciel*, 1555)

Un exemple caractéristique de la glorification musicale de l'Univers à travers l'oeuvre de Dieu est probablement, dans la musique occidentale du moins (car les Psaumes de David témoignent du même souci), l'hymne grégorien du 4ème ton " *Creator alme Siderum* ": "créateur bienfaisant des astres, Lumière éternelle des croyants, prête l'oreille à nos voeux suppliants"... Cet hymne, à la mélodie simple, sera largement glosé, essentiellement dans les oeuvres d'orgue de nombreux compositeurs, comme la version de l'Espagnol Juan Bermudo (1555), ou celle (1623) du célèbre organiste de la cathédrale de Rouen: Jehan Titelouze (1563-1633). Cet hymne jalonne pratiquement toute l'histoire de la musique jusqu'à la période contemporaine.

A la Renaissance, cet équilibre idéal entre harmonie et physique devient intenable, d'abord parce que la confrontation de la théorie à l'expérience se fait plus pressante, et ensuite par la quantité de sphères et d'épicycles nécessaires pour expliquer les écarts et les nombreuses anomalies observées. La vieille théorie de Philolaos, qui faisait de la Terre un astre sonore et mobile revient à la mode, pour être reprise en 1453 par Copernic à l'aide d'une argumentation très simple: Dieu est infini, donc sa création l'est aussi; il n'y a pas de centre dans l'infini, donc la Terre ne peut être au centre..., ce que Pascal exprime environ deux siècles plus tard dans ces textes qui sont sans aucun doute les plus beaux de toute la prose française passée, présente et à venir:

Que l'homme contemple donc la nature entière dans sa haute et pleine majesté, qu'il éloigne sa vue des objets bas qui l'entourent. Qu'il regarde cette éclatante lumière, mise comme une lampe éternelle pour éclairer l'univers, que la terre lui paraisse comme un point au prix du vaste tour que cet astre décrit et qu'il s'étonne de ce que ce vaste tour lui-même n'est qu'une pointe très délicate à l'égard de celui que les astres qui roulent dans le firmament embrassent. Mais si notre vue s'arrête là, que l'imagination passe outre; elle se lassera plutôt de concevoir que la nature de fournir. Tout ce monde visible n'est qu'un trait imperceptible dans l'ample sein de la nature. Nulle idée n'en approche. Nous avons beau enfler nos conceptions au-delà des espaces imaginables, nous n'enfantons que des atomes au prix de la

réalité des choses. C'est une sphère dont le centre est partout, la circonférence nulle part...

Malheureusement pour Copernic, son argumentation de l'infini a pour conséquence la mise à l'index, de son livre *De revolutionibus* en 1616 par l'Eglise, bien que l'auteur ait pris la précaution de le dédier au pape Paul III. Publié en 1543, cet ouvrage reprend les idées de Platon et de ses héritiers mystiques pour qui *les données des sens ne sont que des ombres vides de toute substance*. En effet, les néo-platoniciens construisent leur vision du monde sur une mathématique idéale comme en témoigne Proclus, le dernier des grands néo-platoniciens grecs:

Toutes les catégories mathématiques....existent d'abord dans l'âme, de sorte que, avant les nombres sensibles, il se trouve au plus profond de celle-ci des nombres qui se meuvent d'eux-mêmes....une harmonie idéale, préexistante aux sons et des sphères invisibles, préexistantes aux corps et qui décrivent un cercle.

Remarquons que la quête d'harmonie idéale correspond, sur le plan technologique, au développement en Europe de l'horloge, véritable mère de toutes les machines. L'horloge, la pendule, la montre représentent, soit chez le particulier, soit auprès des collectivités (principalement sur les places publiques), une machine à mesurer le temps qui marche d'elle-même. On devine ce qu'une telle machine pouvait avoir de prophétique lorsque 400 ans plus tard, la relativité d'Einstein montrera qu'espace et temps sont indissociables. L'horloge semble dotée d'une vie propre, de la même manière que les astres se mouvant dans le ciel. De là surgit cette idée que l'Univers n'est qu'une vaste horloge mise en place par le Créateur... C'est Nicolas Oresme qui, à la fin du XIVème siècle, invente cette image:

"Et si quelque homme devait fabriquer une roue mécanique, ne ferait-il point en sorte que toutes les roues se meuvent aussi harmonieusement que possible?"

L'horloge devient rapidement la machine-symbole de l'harmonie. Elle répond à l'irrésistible appel des générations antérieures de pouvoir mesurer l'écoulement du temps. Elue mécanisme de la Lune et du Soleil, ayant permis,

dès l'antiquité, l'établissement des calendriers aussi bien que la prévision des éclipses, en passant par la clepsydre des romains pour arriver au pendule, inventé aux Pays-Bas par Huygens (1629-1695), notre histoire est jalonnée de cette volonté de découper le temps afin, non seulement de se repérer, mais aussi de le mesurer. Les lois universelles régissant le pendule, permettent également d'étalonner les mouvements des astres. D'un autre côté, cette mesure du temps permet d'assurer la cohésion de la musique interprétée, l'horloge se muant en Maître de concert, chef d'orchestre ou tambour major, dont l'importance est universellement reconnue. La musique est soumise dès lors aux impératifs "rythmiques", indispensables à l'obtention de l'harmonie: la mesure du temps est inséparable de l'harmonie, qu'il s'agisse des sphères ou bien de la musique.

La métaphore du Dieu-horloger connaîtra un grand succès; Voltaire en reprendra l'idée, tandis que Mozart enfermera quelques-unes de ses compositions dans des boîtes à musique, reliées à des mécanismes d'horlogerie.

Le fait le plus saillant de la révolution copernicienne concerne la perte de notre anthropocentrisme: la Terre n'est plus qu'une planète parmi les autres, tournant autour du Soleil. En Italie, Léonard de Vinci consacre un chapitre de ses travaux afin de savoir *si le frottement des cieux fait son ou non*, apportant quelques arguments afin de réfuter la théorie:

...Le frottement consume les corps, et s'il n'y a pas d'air dans les cieux, il ne peut y avoir de son; mais s'il y a de l'air, les corps seraient usés depuis longtemps. De plus, les corps polis ne font pas de son en frottant et si les cieux ne sont pas polis après des siècles de frottement, c'est qu'ils sont globuleux et rugueux: donc leur contact n'est pas continu. Il y aurait alors un vide dans la nature, ce qu'on ne peut admettre puisque la nature a horreur du vide. Enfin, le milieu tourne plus vite que les pôles: il devrait donc être plus usé et après usure il n'y aurait plus frottement et le son s'arrêterait...

Après la disparition de Copernic, Tycho Brahé (1546-1601) développe l'astronomie dans le nord de l'Europe d'une manière aussi rapide qu'exceptionnelle. Grâce aux subsides de Frédéric II ainsi qu'à sa fortune personnelle, il construit le premier grand observatoire qu'il baptise "Château Céleste" (*Uraniborg*), et dans lequel un groupe d'astronomes assidus cumulent, jour après jour, les observations scrupuleusement consignées. Cartes célestes, catalogues de positions d'étoiles, mouvement des planètes constituent une documentation suff-

isante pour ébranler toutes les théories anciennes sur les sphères célestes... Malheureusement, Tycho Brahé ne parvient pas à renoncer à la vision géocentrique de l'Univers, par fidélité au système de Ptolémée. Voici comment l'astronome danois motive lui-même sa théorie:

"Je pense qu'il faut décidément, et sans doute, placer la Terre immobile au centre du monde, suivant le sentiment des Anciens, et le témoignage de l'Écriture.

Je n'admets point, avec Ptolémée, que la Terre soit le centre des orbites du second mobile; mais je pense que les mouvements célestes sont disposés de manière que la Lune et le Soleil seulement avec la huitième sphère, la plus éloignée de toutes, et qui renferme toutes les autres, aient le centre de leur mouvement vers la Terre. Les cinq autres planètes tourneront autour du Soleil comme autour de leur chef et de leur roi, et le Soleil sera sans cesse au milieu de leurs orbites, qui l'accompagneront dans son mouvement annuel... Ainsi le Soleil sera la règle et le terme de toutes ces révolutions, et, comme Apollon au milieu des Muses, il réglera l'harmonie céleste."

Johannes Képler (1571-1630), son jeune collègue hérite de la masse des documents laissés par Brahé à la mort de celui-ci.

Le travail essentiel de Képler sera d'énoncer les lois relatives au mouvement des planètes. Inspiré lui-aussi par le thème du Dieu-horloger, il écrit en 1605:

"Mon objectif est de montrer que la machine céleste est assimilable, non pas à un organisme divin, mais à un mécanisme d'horlogerie"

Dans le système de Copernic, le Soleil, passé au centre de l'Univers, ne joue qu'un rôle d'éclairage des planètes; il n'est pas la "cause" de leur mouvement. Képler donne au Soleil une fonction motrice, anime les planètes sur une orbite elliptique. Mais ces découvertes ne le satisfont pas totalement: il recherche l'harmonie des sphères dans l'harmonie musicale, car c'est pour lui le mode mathématique qui a le plus de chances d'être le meilleur fil conducteur vers la compréhension des intervalles planétaires. D'autre part, Dieu est géomètre et architecte, mais il est aussi, et surtout, musicien. Il ne peut en être autrement, car le géomètre ne se serait intéressé qu'aux distances et à leur harmonie, mais non à l'harmonie des mouvements. Ce dieu musicien doit donc attribuer à chaque planète une phrase musicale qui lui soit propre puisque, selon la tradition, chaque planète est "vivante" et "douée d'une âme", sinon

gouvernée par son ange gardien particulier, qui est le seul à pouvoir entendre son harmonie.

Selon Kepler, la vitesse angulaire de chaque planète, dans son mouvement autour du Soleil, mesurée en secondes de degré par jour, fournit le nombre de vibrations de chaque ton. La phrase musicale correspond au fait que la vitesse en question n'est pas constante; l'intervalle musical parcouru mesure l'*excentricité* de l'orbite (plus une excentricité est grande, plus l'ellipse décrite par l'orbite est allongée). La note *fondamentale* correspond à celle de la planète à son aphélie (distance maximale au Soleil). Kepler arrive ainsi, d'une certaine façon, à obtenir les mélodies "de base" de chacune des planètes, les notes de la Terre étant simplement *mi, fa, mi, fa...*, autrement dit: *miseria, famina, miseria, famina...* répétées indéfiniment. Ainsi, le chant de Mercure est un soprano, celui de Vénus à juste titre un contralto, et en continuant ainsi à s'éloigner du Soleil, celui de Mars un ténor

léger, et pour les géants Jupiter et Saturne, deux basses profondes. Le livre *Harmonices Mundi* contenant les résultats de ses travaux harmoniques est publié en 1619. Ainsi, l'accord orbital de Mercure se compose d'une octave à laquelle s'ajoute une tierce (*do...do..mi*), Vénus répète la même note (*mi, mi, mi*), la Terre se limite à un demi-ton (*sol, la bémol, sol*), Mars donne une quinte (*fa, sol, la, si bémol, do*), Jupiter se promène sur une tierce grave (*si-ré*), ainsi que Saturne (*sol-si*). La Lune, astre mobile entre tous (limite du monde terrestre et du monde sublunaire selon le principe Aristotelico- Ptoléméen), se voit aussi attribuer une mélodie et Kepler, sans doute pour expliciter cette mélodie précise: "là où était la Lune" (*Hiclocum habereriam*).

On peut continuer l'oeuvre de Kepler en l'étendant aux planètes découvertes depuis le XVIIème siècle. Uranus, avec une excentricité de 0.047 aurait quasiment la même ligne mélodique que Jupiter, soit une tierce majeure (*sol-si*), tandis que Neptune ($e=0.010$) se contente d'un quart de ton (*sol-sol(1/4)-sol*). Enfin, Pluton offre une ligne plus développée s'étendant sur une octave et une quarte (*do..do..fa*). Signalons que l'excentricité de Pluton est telle que la planète entre dans l'orbite de Neptune, partageant ainsi avec elle des "notes" communes.

La musique céleste de Kepler ressemble à une mélodie où le son demeure emprisonné dans des limites bien précises. Jamais la notion de polyphonie n'est présente dans les correspondances musicales de Kepler. C'est pourquoi nous pouvons parler ici de "gammes planétaires" et non pas de musique des sphères.

Quelques années après la publication de *De Revolutionibus* (1543-1544), Galilée s'attache également à établir un lien entre ses prédictions astronomiques et ses recherches en matière musicale, grâce à l'influence de son père, Vincenzo Galilée (1520-1591). Celui-ci fut l'un des plus éminents représentants de l'école musicale florentine, Frescobaldi et Virolino s'inspirent de ses compositions.

Diagram showing musical notation for Saturnus, Jupiter, Marsierc, Terra, Venus, Mercurius, and Hic locum habet etiam. The notation is arranged in two rows of four staves each. The first row contains Saturnus, Jupiter, Marsierc, and Terra. The second row contains Venus, Mercurius, and Hic locum habet etiam. Each staff shows a sequence of notes with diamond-shaped markers above them, representing the intervals between notes.

En fait, l'alignement des notes d'une ligne musicale est sacré, on li apparaît clairement que la terre était immobile et que le Soleil se déplaçait dans le ciel; le roi Salomon n'avait-il pas déclaré dans la Bible que le Soleil venait à sa place? On peut remarquer cependant que c'est au Soleil, et non à la terre que sont données l'ordre de se tenir immobile! Galilée annonçait ainsi un système géocentrique.

Voilà ce que l'alignement des notes d'une ligne musicale est sacré, tout des accents doivent être à la garde, mais aussi à la garde.

Un tel régime sur travaux en de manière à leur. Un tel régime de déstabilisation a pour conséquence l'ajustement physique, le 22 juin 1633. A la fin de la journée, on trouve la lumière des étoiles dans un monde qui n'est plus le même.

Diagram showing musical notation for Saturne, Jupiter, Mars, Terre, Vénus, and Mercure. The notation is arranged in two rows. The first row contains Saturne, Jupiter, and Mars, with a wavy line labeled '6va' above them. The second row contains Terre, Vénus, and Mercure, with a wavy line labeled '8va' above them. Each staff shows a sequence of notes with diamond-shaped markers above them, representing the intervals between notes.

de Galilée et regardé sur la vibration. L'harmonie universelle est la véritable science des connaissances acquises à ce jour et ce jour. Pour la question de la découverte des quatre principaux éléments de l'univers par Galilée.

Les propriétés harmoniques des sphères en mouvement étaient ainsi en universalité. Afin de compléter cette recherche, Messian demanda à Charles Backus, organiste de Notre-Dame de Paris depuis 1618, de composer une pièce qui sera intitulée "pour l'organe de ce qui peut se faire sur l'organe", c'est en quelques mots l'illustration musicale des plus récentes acquisitions en matière de

Extrait de l'Harmonices Mundi (1619). À chaque planète correspond une ligne mélodique dont l'intervalle séparant les notes extrêmes (ambitus) est défini par l'excentricité de l'orbite. Le même texte musical est reproduit dans sa typographie d'origine, et dans la notation contemporaine.

Quelques années après la publication de Képler, Galilée (1564-1642) s'attache également à établir un lien entre ses préoccupations astronomiques et ses recherches en matière musicale, grâce à l'influence de son père, Vincenzo Galilei (1520-1591). Celui-ci fut l'un des plus éminents représentants de l'école musicale florentine: Frescobaldi et Vivaldi s'inspireront de ses compositions.

Passionné par la musique autant que par l'astronomie, Galileo Galilei établit en 1636 la relation liant la tonalité et la vibration d'une corde; il suit également de très près les travaux de Copernic et de Képler. On sait d'autre part comment le célèbre astronome ouvre les portes de l'observation du cosmos, grâce à l'utilisation systématique de la lunette, récemment inventée (1590). On sait également dans quelles circonstances dramatiques il doit faire face à l'inquisition du pape Urbain VIII et abjurer ce qui devenait l'évidence même. En fait, l'Eglise voulait demeurer d'une fidélité intransigeante aux textes sacrés, où il apparaissait clairement que la Terre était immobile et que le Soleil se déplaçait dans le ciel; le roi Salomon n'avait-il pas déclaré dans la Bible que le Soleil *revient à sa place*?... On peut remarquer cependant que c'est au Soleil, et non à la Terre que Josué donna l'ordre de se tenir immobile! Galilée annonçait un Univers "télescopique" fait d'espaces infinis, ainsi qu'un système héliocentrique dont la Terre n'est qu'une planète parmi les autres.

Vis à vis de l'Eglise, Galilée se comporte non seulement en profaneur des secrets divins dont elle a la garde, mais aussi en terroriste puisqu'il rédige ses travaux en italien de manière à les rendre accessibles à tous. Un tel risque de déstabilisation a pour conséquence l'abjuration publique, le 22 juin 1633. A la même époque, Claudio Monteverdi met en musique la lumière des étoiles dans un madrigal de son septième livre: *Al lume de stelle*.

En France, le père Marin Mersenne (1588-1648) traduit les livres de Galilée et reprend ses travaux sur la vibration des cordes. Il publie son "*Harmonie Universelle*" en 1636, véritable somme des connaissances acquises à ce jour en matière d'acoustique et de musique. Son intérêt pour l'astronomie le pousse à inclure dans son ouvrage des dessins de télescopes afin de réactualiser la question de l'Harmonie des Sphères: celle-ci s'en trouve renforcée par la découverte des quatre principaux satellites de Jupiter par Galilée.

Les propriétés harmoniques des sphères en mouvement gagnent ainsi en universalité. Afin de compléter cette recherche, Mersenne demande à Charles Racquet, organiste de Notre-Dame de Paris depuis 1618, de composer une pièce qui sera imprimée "*pour l'exemple de ce qui peut se faire sur l'orgue*"; c'est en quelque sorte l'illustration musicale des plus récentes acquisitions en matière de

musique. La quête d'équilibre par l'harmonie des mondes suivant les principes de l'harmonie musicale atteint ici l'un de ses sommets. Le lien reste cependant difficile à établir: comment par exemple retrouver cette harmonie universelle sachant que, d'une part Jupiter est accompagné de quatre satellites, récemment découverts par Galilée, et que Saturne a l'air "bizarre" (les anneaux seront découverts peu après), tandis que d'autre part le son produit par une corde est fonction de sa tension, de sa longueur et de sa masse? On peut retrouver ici une certaine analogie avec le problème caricatural type: "calculer l'âge du capitaine"! C'est pourtant une des questions que le XVIIIème siècle tentera de résoudre.

Mais avant d'aborder ce siècle, tournons nous vers l'Allemagne afin de voir comment, à la suite du schisme de Luther, les idées sur l'harmonie évoluaient.

Au XVIème siècle, les pères fondateurs du protestantisme comme Luther, Melanchthon ou Calvin se refusaient à un tel discours. Ces nouvelles visions du monde étaient, pour eux, l'oeuvre d'astrologues d'un genre nouveau, des fous voulant renverser toute la science de l'astronomie. Luther jugeait d'ailleurs Copernic en des termes peu élogieux:

"Ce sot voudrait mettre sens dessus dessous toute la science astronomique!"
(Luther, 1539, *Propos de Table*)

Et Melanchthon de surenchérir:

"Affirmer publiquement de telles notions est contraire à toutes les règles de l'honnêteté et de la bienséance, et l'exemple est pernicieux. Un bon esprit doit accepter la vérité telle que Dieu la révèle."

Pas plus que les catholiques, les protestants n'acceptent le moindre écart à l'orthodoxie cosmologique établie depuis l'antiquité. C'est pourquoi l'impact des recherches sur l'harmonie des sphères est faible dans le monde protestant, et en particulier en Allemagne.

La raison essentielle repose sur la volonté de la réforme, d'un langage

vernaculaire où les textes sacrés deviennent intelligibles pour tous. L'harmonie est avant tout représentée par le texte, la musique devenant un complément indispensable pour renforcer la portée des idées essentielles; c'est ainsi que le *choral* voit le jour, dont la forme va rapidement se développer et s'intégrer aux offices. Il est le substrat du texte sacré, mis à la portée d'une communauté en prière.

Dans l'oeuvre immense de Jean Sébastien Bach, il n'est fait allusion au ciel "astronomique" qu'à travers le vieux thème de Philippe Nicolai (1599) "*wie schon leuchtet der Morgenstern*" (comme brille l'étoile du matin!), où subsiste l'ambiguïté sur le mot *étoile*: s'agit-il de l'astre de la nativité ou bien de la planète Vénus qui, comme le chante Dante, précède le lever du Soleil ou suit son coucher?

Cette mélodie est présente dans plusieurs pièces: d'abord dans la 6ème cantate de l'Oratorio de Noël (récit de l'évangéliste de l'observation de l'astre des mages), ensuite à travers le choral pour orgue BWV739; c'est également le thème dominant de la cantate BWV1 pour l'Annonciation. On retrouve aussi ce thème dans les cantates BWV36 (Avent) et curieusement BWV172 (composée pour la fête de la Pentecôte!), ainsi qu'une version harmonisée (BWV436) et deux chorals pour orgue, inachevés (BWV763-764). Curieusement, Bach n'utilise jamais le thème d'un second choral: "*Nur seheth den Stern*" (maintenant nous voyons l'étoile). Le cantor de Leipzig ne va pas au-delà de Luther, dans son propos "astronomique" qui ne semble guère l'avoir intéressé, si l'on s'en tient à l'examen de ses pièces. Le paradoxe cependant réside dans le fait que son oeuvre sera constamment associée aux notions d'architecture, d'onde et d'harmonie. Remarquons au passage le caractère "pythagoricien" de ses compositions, car Bach est également un adepte de la symbolique des nombres, combinant adroitement les lettres de son nom ou bien les chiffres bibliquement significatifs (par exemple 3 = la Trinité, Père, Fils, Esprit, ou encore le chiffre 7, bien évidemment).

Bach ignorait probablement qu'en 1738, en Hanovre naissait celui qui allait porter la dualité musique-astronomie à son apogée: William Herschel.

Issu d'une famille de musiciens, son père jouait du fagott (ancêtre du hautbois), tout en dirigeant l'orchestre militaire des gardes de Hanovre, Fiedrich Wilhelm Herschel émigre en Grande-Bretagne, prenant le prénom de William. Il se consacre à l'orgue, au hautbois et à la composition, d'abord à Halifax, ensuite à Bath où il devint organiste de la *Chapelle Octogonale* en 1766. Ayant étudié l'astronomie, il se passionne pour la construction des télescopes par la lecture des livres d'optique de Bonaventura Cavalieri. Les traités de Cavalieri avaient été publiés en 1632; titulaire de la chaire de mathématiques

de Pise, il avait succédé à un disciple de Galilée, Castelli.

Herschel va donc entreprendre la construction de télescopes de plus en plus performants, taillant et polissant lui même les miroirs jusqu'à leur donner une courbure parfaite. Il est récompensé de ses efforts en effectuant de nombreuses et remarquables découvertes: le 13 mars 1781, observant avec son télescope de 16 centimètres d'ouverture muni d'un oculaire grossissant 227 fois un petit groupe d'étoiles dans la constellation des Gémeaux, il note que l'une d'elles présente un aspect insolite; elle possède un disque circulaire et semble se déplacer par rapport à ses voisines. Croyant d'abord avoir affaire à une comète, Herschel communique ses observations à la *Royal Society* le 26 avril. Il se rend vite compte par la suite, que l'astre incriminé est une nouvelle planète, située à une distance moyenne de 2875 millions de kilomètres, effectuant sa révolution autour du Soleil en 84 ans: elle prend le nom d'Uranus.

Il faut imaginer l'impact d'une telle découverte. Après des siècles d'une astronomie planétaire figée à six composantes auxquelles s'ajoutaient le Soleil et la Lune, et sur laquelle reposaient tous les concepts du système des mondes aussi bien physique qu'astrologique, le système solaire s'accroît subitement. Grâce à cette nouvelle planète, située à dix-huit fois la distance de la Terre au Soleil, un monde nouveau s'offre à l'homme, près de trois siècles après les découvertes de Christophe Colomb.

Outre de nombreux catalogues d'étoiles, Herschel est le premier à supposer que le Système solaire peut faire partie d'un vaste ensemble d'étoiles, la Voie Lactée, dont la structure doit être analogue aux nébulosités observées dans les constellations d'Andromède et du Triangle. Non content d'agrandir l'horizon planétaire, Herschel repousse l'horizon cosmique, le peuplant ainsi de galaxies.

Pour l'ensemble de ses travaux, le roi Georges III l'élève à la dignité d'Astronome de la Cour, et jusqu'à sa mort en 1822, il partage son temps entre la science et l'art. En 1800, il découvre les effets thermiques du rayonnement infrarouge.

Un point important de l'oeuvre d'Herschel porte sur ses tentatives d'explication de l'origine et de l'évolution des mondes, car il est l'un des premiers à semer les prémices de ce qui sera plus tard l'astrophysique dans son aspect évolutif et *cosmochronologique*: d'où vient le monde?, Comment a-t-il été créé? Quelle harmonie le régit? Telles sont les questions posées en précurseur par William Herschel.

Son oeuvre musicale est également importante: elle comprend essentiellement vingt-quatre symphonies, sept concertos pour violon, deux concertos pour orgue, des madrigaux, de la musique chorale, enfin de nombreuses

pièces pour divers instruments, avec une prédilection pour l'orgue. D'un style plus fortement tournée vers le baroque tardif que le classicisme, Herschel doit une partie de son inspiration à Haendel, né également en Allemagne. Il se lie d'amitié pour Joseph Haydn, lorsque celui-ci lui rend une longue visite en 1792:

"...Le 15 juin, j'ai été de Windsor à Slough chez le docteur Herschel où j'ai vu le grand télescope - il a 40 pieds de long et 5 de diamètre, la machine est très grande, mais si ingénieuse qu'un seul homme peut facilement la mettre en marche. Il y a encore deux plus petits télescopes, dont l'un a 22 pieds et agrandit 6000 fois. Le roi s'en est fait construire 2, de 12 pieds chacun. Il les lui a payés 1000 guinées. Dans sa jeunesse, le Dr Herschel était au service de la Prusse comme hautboïste durant la guerre de 7 ans, il a déserté avec son frère, et arrivé en Angleterre, a gagné son pain plusieurs années grâce à la musique, est devenu organiste à Bath, puis s'est tourné de plus en plus vers l'astronomie. Après s'être procuré les instruments nécessaires, il a quitté Bath, loué une chambre près de Windsor, étudié jour et nuit, sa logeuse est devenue veuve, ils sont tombés amoureux l'un de l'autre, et elle l'a épousé en lui apportant 100000 florins. En outre, le roi lui verse à vie une pension annuelle de 500 livres, et en cette année 1792, sa femme âgée de 45 ans a donné naissance à un fils. Il y a 10 ans, il a fait venir chez lui sa soeur, qui l'aide énormément dans ses observations. Il reste parfois 5 à 6 heures dans le froid le plus vif..."

(Joseph Haydn, par Marc Vignal, 1988, éditions Fayard)

Le célèbre compositeur ne manque pas de s'imprégner, au contact de l'astronome, des théories d'Emmanuel Kant sur l'origine de l'Univers; plus d'un siècle avant les travaux d'Einstein, la grande explosion initiale, le *Big Bang* éclate dans l'oratorio de Haydn *"La Création"*, oeuvre monumentale composée seulement cinq ans après sa visite à Herschel; dans le célèbre passage *"Und es ward Licht!"*. La lumière jaillit, l'Univers est parti.

Le XVIIIème siècle, ou *Siècle des Lumières* voit se transformer rapidement la vision du monde, en raison même du développement accéléré des sciences et des techniques, essentiellement à travers les lois de la physique qui trouvent leur application aussi bien en astronomie qu'en acoustique. La structure de la matière se révèle parfaitement harmonique avec ses nombreuses propriétés de symétrie. Tandis que Fontenelle se pose la question de la *pluralité*

des mondes habités, Lavoisier met en évidence l'oxygène de l'air, augmentant la table des éléments chimiques qui, peu auparavant, se résumait aux quatre éléments: eau, air, terre et feu. La table moderne de Mendeleiev en comporte plus d'une centaine.

La loi de Bode est une relation empirique donnant de manière approximative les distances relatives des planètes au Soleil, qui fut déjà pressentie par Pythagore, puis par Képler qui voulait montrer que les orbites des planètes avaient été placées harmoniquement. Toutes les combinaisons numériques savantes se heurtaient cependant à un grave problème: l'harmonie était rompue par l'absence de planète entre Mars et Jupiter. Découverte en 1741 par l'astronome allemand Wolf, cette "loi" fut précisée par son compatriote Johann Daniel von Tietz (1729-1796) qui latinisa son nom en *Titius*; mais elle est surtout connue grâce à Johann Elert Bode (1747-1826) qui la publia en 1772, alors qu'il était directeur de l'observatoire de Berlin.

Selon cette loi, si 0.4 représente la distance de Mercure au Soleil, la distance de Vénus est obtenue en ajoutant une fois 0.3 à 0.4, soit 0.7, celle de la Terre en ajoutant deux fois 0.3 à 0.4, soit 1.0, celle de Mars quatre fois 0.3, puis huit fois 0.3, seize fois... Chaque distance obtenue est exprimée en *unités astronomiques* (1UA est la distance Terre-Soleil, soit environ cent cinquante millions de kilomètres). En mathématiques, la relation s'exprime par une progression géométrique: $D = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$ avec $n = -\infty$ pour Mercure, 0 pour Vénus, 1 pour la Terre, 2 pour Mars etc...

Cette absence de planète entre Mars et Jupiter incita de nombreux astronomes à scruter le ciel à la recherche d'un monde nouveau, et c'est en 1801 que l'abbé Piazzi, en Italie, découvrit *Cérès*, astéroïde de 350 kilomètres de diamètre. Dans les décennies qui suivirent, de nombreux astéroïdes furent trouvés: *Pallas* (230 km de diamètre), *Junon* (110km), *Vesta* (190 km)...jusqu'à *Icare* qui ne fait que 700 mètres ou bien *Adonis* et ses 150 mètres...

A défaut d'une dixième planète, le système solaire dispose d'une véritable ceinture de petits corps (près de 5000 sont recensés), circulant entre Mars et Jupiter. La loi de Bode se présente ainsi:

planète	n	loi de Bode	distance réelle
Mercure	$-\infty$	0.4	0.39
Venus	0	0.7	0.72
Terre	1	1.0	1.00
Mars	2	1.6	1.52
Astéroïdes	3	2.8	2.8
Jupiter	4	5.2	5.20
Saturne	5	10.0	9.55
Uranus	6	19.6	19.2
Neptune	7	38.8	30.1
Pluton	8	77.2	39.5

On voit nettement qu'à l'exception de Neptune qui doit se faire remplacer par Pluton, l'accord entre la "loi" et la réalité est remarquable. Cette Harmonie est-elle le fait du hasard? Les travaux les plus récents montrent qu'une telle disposition est une conséquence du mode de formation des composantes du système solaire, par des processus d'accrétion de matière dans une masse gazeuse originelle. Au même titre que les électrons respectent des lois harmoniques autour des noyaux des atomes, les planètes semblent avoir choisi un dessein analogue.

Ces découvertes successives ont cependant tendance à ébranler l'ordre du Monde, car les concordances entre les intervalles des planètes et celles de la gamme sont aussi en relations étroites avec les quatre éléments..., et les neuf muses! Et si, en 1737, Jean Féry Reibel, avec le chaos initial de sa composition "*Les Elements*", ne parvient pas à accepter la vision organisée des-dits éléments, Rameau, de façon beaucoup plus subtile joue sur les tonalités dans l'ouverture de son opéra "*Zais*". Le compositeur parvient à traduire musicalement l'établissement d'un ordre progressif de la matière, véritable interprétation harmonique, avec deux siècles d'avance, de l'évolution (ou *nucléosynthèse*) de la matière intersidérale issue de l'explosion initiale.

En cette fin de XVIIIème siècle, les conceptions d'harmonie ont donc évolué, au fur et à mesure des découvertes scientifiques, quittant le vase clos du Système solaire, pour s'universaliser à l'ensemble de l'Univers. La composante temporelle vient compléter le panorama: l'Univers a eu un début où régnait

le chaos: il faut donc trouver par quel stratagème ce chaos s'est ordonné. L'exemple musical sert d'illustration à cette volonté d'ordre.

La période romantique transforme radicalement la vision du Monde suivant deux aspects dominants. D'une part l'harmonie céleste se généralise à l'ensemble des objets de l'Univers, mais cette fois non plus tant dans un rapport d'harmonie que dans un rapport de hiérarchie, où chaque corps céleste fait partie d'une structure, elle-même faisant partie d'une structure etc... D'autre part, le langage musical se caractérise par un retour à la mythologie ancienne, afin de célébrer musicalement les premières divinités, principalement Soleil et Lune. Il faut remarquer dès à présent, que le schéma harmonique liant les planètes est devenu complètement caduc, surtout avec la découverte de la planète Neptune par Urbain Leverrier, en 1846. L'astronome effectua des calculs monstrueux à partir des perturbations constatées dans la révolution d'Uranus autour du Soleil. Il communiqua à Galle, alors directeur de l'observatoire de Berlin, les résultats de ses travaux, prédisant en outre l'endroit précis où devait se trouver la nouvelle planète. Cette découverte eut un grand retentissement, car elle symbolisait le triomphe du calcul et de la théorie. L'empirisme de la découverte fortuite faisait place à la démarche rigoureusement scientifique. Pluton viendra compléter la liste des composantes du Système solaire en 1930, à la suite de travaux similaires, reposant sur les perturbations de l'orbite de Neptune.

L'intérêt des musiciens romantiques continue de se manifester pour le cosmos. Le retour aux sources de la Grèce antique et l'exacerbation du sentimentalisme les conduisent à ressusciter les mythes anciens du Soleil et de la Lune pour lesquels, suivant l'antique croyance, la lumière sert de passerelle afin que les âmes puissent s'élever de la Terre. Beethoven et Chopin puisent à cette source leur inspiration, le premier dans la grandeur austère, le second afin d'émouvoir les parterres de jeunes filles. Dans le domaine littéraire, Balzac fait allusion à l'Harmonie des Sphères dans son roman *Seraphita*.

Camille Saint-Saens (1835-1921) compose dans sa jeunesse deux sonates pour violoncelle et piano afin de pouvoir faire l'acquisition d'une lunette astronomique. Il fréquente avec assiduité l'observatoire de Paris, s'étant lié d'amitié avec Camille Flammarion. De son côté, Jules Massenet se divertit de ses opéras comme *Manon* ou *Thaïs* en observant les étoiles à l'aide de sa

lunette astronomique numéro 224, de soixante-quinze millimètres de diamètre, achetée à l'opticien Secrétan. En Allemagne, Max Reger (1870-1916) reprend le vieux choral de l'étoile du matin pour composer quelques unes de ses plus belles pièces pour orgue. Enfin, Gustav Holst à travers "*Les Planètes*" se sépare délibérément de l'aspect scientifique, transposant musicalement une vision purement astrologique. Il renoue avec la tradition des anciens, retrouvant les caractéristiques de chaque planète: Mercure, le messager ailé, Vénus, la porteuse de paix, Mars, le porteur de la guerre, Jupiter, le jovial, Saturne, la vieillesse, Uranus, le magicien, et Neptune, la mystique.

Les grandes révolutions scientifiques du XIXème siècle favorisent l'éclosion d'idées nouvelles. Au fur et à mesure que les découvertes s'effectuent, les principes généraux de la nature se révèlent de plus en plus complexes, suscitant une démarche intellectuelle beaucoup plus critique. Curieusement, cette évolution se produit également dans le langage musical avec la recherche de nouvelles sonorités, de nouveaux styles de composition. La codification stricte de la musique laisse place à une volonté de créer une nouvelle réceptivité: la musique vient stigmatiser l'état émotionnel. Debussy et Ravel vont dans une direction assez analogue à celle des peintres impressionnistes, afin que la partition, comme le tableau, ne soit que le support susceptible de recréer une situation intensément ressentie.

C'est dans cet état d'esprit, à la fois scientifiquement critique, et musicalement sensibilisé que commence le vingtième siècle.

Dans la période contemporaine, l'image du musicien tirant son inspiration de la contemplation des étoiles cesse d'être pertinente; le compositeur d'aujourd'hui ressemble bien d'avantage à un homme de laboratoire qui travaille sur des appareils électroniques aidé de spécialistes en physique et en acoustique. Dans le domaine astronomique, les travaux d'Einstein sur la relativité, complétés de ceux de Lemaitre, Friedmann ou Hubble ouvrent de nouveaux horizons sur notre cosmos. Copernic avait mis la Terre en mouvement, l'Univers est maintenant mis globalement en mouvement d'expansion à partir d'un point zéro correspondant au "Big Bang", il y a 15 à 18 milliards d'années.

Nous ne pouvons résister ici au plaisir de reproduire les paroles de la chanson "Albert", composée et interprétée dans les années 1970 par le groupe

de rock and roll "*Einstein*". Elle mérite autant sa place dans le panthéon de l'Harmonie des Sphères que n'importe quel hymne à la gloire de l'Univers:

*"J'ai enfilé ma tenue de rocker pour sortir,
et voilà qu'au coin de la rue,
pour s'affranchir du poids des enquiquineurs,
un vieil homme sur une affiche me tirait la langue,
le type qui a mis au point la théorie de la relativité.
Je ne sais pas pourquoi je ne m'étais pas aperçu avant
qu'il ressemblait vraiment à un rocker
qui aurait connu une théorie rock pour m'envoyer planer!*

$$E = MC^2$$

*Ecoute ce que je te dis: Albert était un rocker!
un rocker!*

*A l'école, ça ne m'étais jamais venu à l'esprit
mais maintenant, je sais que le rock est énergie!*

c'est bien simple,

c'est pareil,

je vous dis que ce type, c'était un rocker! "

Cette illustration de la relation entre l'homme et la relativité, sous un aspect quelque peu exotique, renferme cependant un grand nombre de vérités. A défaut d'être un rocker (bien que les figures de la danse ne soient pas très éloignées de la révolution orbitale), Einstein joue du violon. Ce n'est pas un virtuose, mais ceux qui l'ont entendu témoignent d'un jeu qui se distingue par sa pureté, sa justesse et sa sincérité d'expression afin de transmettre fidèlement l'architecture du morceau, plutôt que d'affirmer son individualité d'interprète.

Einstein apprécie essentiellement la logique interne de la musique qui domine la personnalité de l'interprète et même du compositeur, tout comme la logique objective de la réalité physique domine l'esprit du chercheur. D'une certaine manière, il y a là une convergence de vue avec Leibniz (1646-1716):

La musique est la joie d'un esprit engagé dans un calcul sans en être conscient.

Les compositeurs de prédilection d'Einstein sont Bach, Haydn, Schubert et Mozart. Bach l'attire par l'architecture suivant une logique ordonnée des constructions mathématiques. En ce qui concerne Beethoven, Einstein préfère les quatuors aux symphonies, afin de sauvegarder la réalité objective, plutôt que de s'attacher au contenu émotionnel. Malgré cette recherche de construction, le contrepoint ne peut donner le sentiment de simplicité, de pureté et de sincérité. Comme en science, la pureté et la simplicité lui semblent le gage d'une réflexion fidèle de la réalité. Mozart est son compositeur préféré, son maître à penser.

La révolution de la vision cosmique provoquée par l'expansion de l'Univers est indiscutablement l'un des faits majeurs de la science contemporaine. La succession des découvertes permet d'affiner notre connaissance, révélant un espace beaucoup plus hétérogène qu'une simple bulle remplie de galaxies, se dilatant. L'esprit humain doit faire face progressivement à une complexité croissante de ce qui l'entoure, car si les grandes lois physiques gardent globalement leur valeur intrinsèque, elles peuvent localement évoluer. Les découvertes d'objets denses tels que les quasars, les trous noirs ou les lentilles gravitationnelles ont la particularité de modifier localement les propriétés physiques de l'espace-temps environnant; ce sont en quelque sorte des "fausses notes" dans la partition cosmique. Les concepts de base sont alors remodelés, voire remodelés afin de sortir d'un solfège traditionnel basé sur l'acquis des générations.

Un des aspects les plus remarquables de cette évolution du langage de la physique est de trouver un équivalent dans le langage de la musique avec, souvent, une volonté délibérée du compositeur de conserver le lien avec l'Harmonie des Sphères. Scriabine dressa les premières ébauches du *Poème de l'Extase* en Suisse. Dans une lettre datée de 1905, il décrit ses premières impressions:

"J'examine le plan de ma nouvelle composition pour la millièème fois. A chaque reprise, j'ai l'impression que le canevas est réussi et que j'ai expliqué l'Univers en termes de libre créativité. Puis le lendemain amène de nouveaux doutes, de nouvelles questions. Une structure aussi considérable que celle que j'élabore actuellement, exige une harmonie complète entre toutes ses parties."

Karl Heinz Stockhausen dans *"Sirius"*, John Cage dans son *"Atlas Eclipticalis"*, Paul Hindemith dans *"Harmonie du Monde"*, aussi bien qu'Arnold Schonberg dans *"La Nuit Transfigurée"* ont ainsi délibérément adapté

leur langage musical afin de transcender leur approche cosmique et de réaliser la plus parfaite adéquation entre le sujet astronomique et son commentaire musical.

L'astronomie et la musique établissent une passerelle commune entre la science et l'art. Des temps les plus reculés jusqu'à nos jours, on retrouve la même volonté de comprendre et de transmettre un tel héritage culturel. Plus qu'une simple construction mentale, l'Harmonie des Sphères se présente véritablement comme une des clés de la connaissance.

Les Cadrans Solaires en Alsace

le vrai, le faux et l'aberrant

FLORSCH A.
Strasbourg

Les cadrans solaires en Alsace

le vrai, le faux et l'aberrant

A. FLORSCH

--

L'homme appréhende facilement l'espace à trois dimensions, x , y , etc... : longueur, largeur, hauteur. Il s'y déplace, part, revient au point de départ à sa convenance. Les difficultés sont parfois grandes, mais elles ne sont pas insurmontables. Pourtant l'homme est confronté à une quatrième dimension qu'il ne gère pas du tout, celle-là ! Il s'agit du temps : x , y , z , et finalement t . Là, la maîtrise de l'homme s'arrête. Tout au plus peut-il parcourir le temps dans le sens vers l'avant, sans action aucune sur la célérité de ce déplacement, mais en aucun cas il ne lui est possible de revenir dans l'autre sens, c'est-à-dire en arrière. Bien sûr, on dira qu'il suffit d'aller plus vite que la lumière pour réussir ce coup. Mais ce n'est là que du yaquisme qui, toutefois, réglerait commodément l'épineuse question de la résurrection des corps ! Bien sûr, il suffit de contempler les astres dans nos télescopes pour les contempler dans leur jeunesse, il y a des milliers d'années, mais ce n'est jamais notre propre jeunesse que nous retrouvons ! Alors ne réfléchissons pas trop avec nos cerveaux limités de mammifères évolués.

Le TEMPS est donc une belle préoccupation des "Sciences Humaines" à défaut d'être une dimension scientifiquement exploitable.

A travers les âges, l'homme a-t-il toujours cherché à mesurer le temps, ou s'est-il d'abord contenté de constater son écoulement ? La "mesure" par essence nécessite un mesureur fiable et constant, et le seul instrument imparfaitement régulier dont un chacun disposait pour rythmer le temps était son propre cœur.

Mais il fallait bien partir à la chasse, prévoir les semailles, se fixer des rendez-vous et se plier à toutes sortes de contraintes sociales. Bref, il fallait bien inventer de quoi suivre et marquer l'écoulement du temps. Le grand

indicateur de la fuite du temps, (du temps utile !) est bien entendu le Soleil, assisté de la Lune d'abord et des autres Astres ensuite.

L'homme préhistorique, ou primitif, a probablement contrôlé l'écoulement du temps en observant la longueur des ombres, la sienne propre, celle des arbres et autres objets ; il est vraisemblable qu'il a planté spécialement des bâtons dans le sol et dressé des monolithes, réalisant ainsi des indicateurs du temps appelés "gnomons". Mais la longueur de l'ombre ne varie pas seulement d'un moment à l'autre dans la journée, elle change d'un jour à l'autre et d'un lieu à l'autre. On rapporte qu'un empereur chinois cinq siècles avant J.-C., excédé peut-être par des serviteurs en retard, imposa une longueur uniforme pour les gnomons implantés dans son empire. N'empêche que ces gnomons, même de longueurs arbitraires, donnaient une bonne indication sur la direction du Sud, ce qui servait au moins à l'orientation. Ils permettaient aussi de déterminer les solstices (longueurs des ombres à midi extrêmes) et les équinoxes (durées égales des matins et des après-midi, directions des levers et couchers).

Qui chercha en premier à obtenir une meilleure précision ? Fut-ce effectivement Bérosee, chaldéen prêtre et astronome à Babylone au IV- III siècle avant J.-C. qui eut le premier l'idée de représenter la voûte céleste par une hémisphère creuse homothétique ? On le dit. L'ombre au fond de la sphère d'un objet situé en son centre est ainsi l'image du soleil même, et il suffit dès lors de suivre son mouvement régulier pour disposer d'une division du temps en intervalles réguliers : les heures.

Le scaphe était né. Mais si les heures qu'il ne donnait qu'entre le lever et le coucher du soleil étaient régulières au cours d'une même journée, elles étaient de durées différentes d'une époque à l'autre. Qu'importe, on divisait le jour entre le matin et le soir en douze heures, courtes en hiver, longues en été. Ce sont les heures dites temporaires.

Mais revenons à notre sujet : les Cadran en Alsace. On n'a pas retrouvé en Alsace de gnomon préhistorique. Evidemment, puisqu'ils étaient périssables... Encore que, peut-être, tel trou au bord d'une cuvette circulaire du côté de la chapelle St Michel près de Saverne pouvait-il avoir été le réceptacle de la base d'une tige de gnomon... ce serait à étudier. Par contre, occupée selon les habitudes par des troupes militaires successives, l'Alsace se devait de livrer un scaphe romain. Elle l'a fait à Bettwiller (Bas-Rhin). Mais pour cela il fallut attendre son découvreur, Pierre HAMM, jusqu'en 1879. La pièce est actuellement au musée archéologique de Strasbourg. Si ce scaphe ne donnait pas une heure très précise qui n'aurait d'ailleurs été utile à personne à cette époque, il témoigne néanmoins d'un certain progrès en Astronomie. Compte-tenu de l'époque, c'est un objet "vrai".

Il faut attendre la christianisation de l'Alsace et l'apparition de nombreuses abbayes et églises pour que l'on installât des horloges solaires. Il devint en

effet nécessaire de fixer les heures des offices et autres services, au moins avec une indication précise du moment, si ce n'est de l'heure. Si l'on connaissait déjà divers dispositifs marquant la régularité de l'écoulement du temps, ceux-ci n'étaient pas à la portée du peuple ! Il est probable que les gnomons rendaient encore de bons services, par contre on procéda à l'installation fréquente de cadrans canoniaux.

Un cadran canonial est un simple disque circulaire ou demi-circulaire vertical. Il porte en son centre un style horizontal perpendiculaire à son plan et se trouvant dans le plan méridien du lieu. Ses graduations sont en petit nombre, et elles ne peuvent donner d'indication sur l'heure que tant que le soleil se trouve entre l'est et l'ouest : moins que pendant une demie journée. Les heures ainsi divisées sont très inégales et variables dans l'année. Parfois les divisions sont réparties de façon franchement irrégulière ; elles correspondaient alors à des heures d'offices religieux.

Nous ne désirons pas faire ici l'inventaire des cadrans de toutes sortes qui existent dans notre province. Il y en a plus de 400 et leur inventaire entrepris il y a un quart de cercle vient d'être repris et complété (voir références). Nous nous bornons en conséquence à donner quelques exemples typiques facilement repérables. Ainsi, en ce qui concerne les cadrans canoniaux, citons ceux de l'église de Rosheim, de l'abbatiale de Marmoutier et surtout, pour son élégance, celui porté par la statue d'un adolescent sur le côté du portail sud de la cathédrale de Strasbourg (portail de l'horloge).

Pour nos esprits modernes, les cadrans canoniaux donnent une fausse heure. Cela n'enlève rien à leur authenticité attendrissante.

On sait que la gent du Haut Moyen Age en Europe ne se préoccupait guère d'Astronomie. Il n'en était pas de même des Arabes et ce furent donc naturellement eux qui, les premiers, inclinèrent les styles dans la direction du pôle céleste. Ne voyageaient-ils pas depuis longtemps en utilisant des astrolabes ? Or un astrolabe ne pouvait être tracé qu'avec de bonnes connaissances des mouvements diurnes des astres ! Ainsi, l'un des astrolabes en possession de l'Observatoire de Strasbourg est dû au marocain ABOU-BEKR et porte la date de 1208. Et c'est un autre marocain, ABOUL-HASAN-ALI-BEN-OMAR-AL-MARRAKUSI, qui le premier proposa le polo, style incliné vers le pôle (1210). Ces savants personnages furent suivis par d'autres, tel IBN-EL-MAGDI vers 1400 (égyptien) etc...

On finit par leur copier leurs inventions. Le plus ancien apparemment de ces cadrans modernes, monumental en plus, est placé au-dessus du portail sud de la cathédrale. Il porte le nom de l'«astrologue au cadran solaire" et fut installé en 1493, époque de REGIOMONTANUS et du passage à Strasbourg de DURER. Mais aussi, ne l'oublions pas, époque de la découverte de l'Amérique (1492) et de la chute de la météorite de Ensisheim (1492), (bien entendu ce n'est là qu'un moyen mnémotechnique pour retenir les dates !).

Le grand horloger strasbourgeois Théodore UNGERER a étudié Ce cadran. Il trouve que ses lignes horaires auraient des écarts entre 4 et 12 minutes, compte-tenu du fait qu'il est déclinant de $29^{\circ}40'$!

Le cadran a-t-il été mal placé ? Est-il vrai ou faux ? En tout cas il indique une bonne heure de midi, et chacun peut aller régler sa montre à ce moment-là !

(Notons ici que l'adolescent au cadran solaire, bien plus primitif, est quant à lui bien orienté !)

Suivit une époque où les cadrans modernes apparurent dans divers endroits. Citons pour l'exemple celui de l'église de Gresswiller daté de 1523 et celui du centre hospitalier spécialisé de Brumath-Stephansfeld, daté de 1524, complètement délaissé sur le clocher de la chapelle. Il est vrai qu'il est haut perché, ce qui prouve qu'il vaut mieux parfois de rester près du sol ! Mais voilà malgré tout le vrai maître de l'heure reconnu et remis en honneur : le soleil préside avec précision à l'écoulement du temps et même DASYPODIUS fait appel à lui pour contrôler l'horloge qu'il a fait installer en 1572 dans la cathédrale. DASYPODIUS fait en effet tracer plusieurs cadrans élaborés sur le fronton du portail sud. Quel hommage rendu au soleil ! Mais on verra encore mieux plus tard à l'époque de SCHWILGUE.

Dés lors, la région voit fleurir une série de cadrans de plus en plus élaborés. En général, ils sont monumentaux ou, au moins, gravés sur pierre. Cela tient certainement au climat : la peinture ne tient pas aux intempéries ! N'a-t-il pas fallu par la suite graver les cadrans de DASYPODIUS, peints à l'origine ?

Au 18^{ème} siècle, la célèbre mais malheureuse abbaye de NEUBOURG abritait certainement un moine cistercien féru de calculs et bon astronome car plusieurs cadrans multifaces proviennent de là. Le plus bel exemple est celui qui fut transplanté au couvent du Mont Ste Odile en 1935. Ce cadran comporte 24 faces sur lesquelles il donne l'heure en divers endroits de la terre. Plusieurs autres monuments très élaborés proviennent de cette abbaye du passé d'où ils ont été dispersés. Si cette dispersion a permis leur sauvegarde, ils n'ont pas toujours conservé leur rôle ! Sauf le cadran du Mont Ste Odile qui est bien orienté, car l'évêque s'était adressé à l'Observatoire Astronomique pour cela. Le travail a été fait sérieusement puisque l'Observatoire a mis six mois pour s'en occuper -ce qui a été exprimé par : l'Observatoire a mis six mois pour faire les calculs ! Un autre cadran-stèle remarquable provient de NEUBOURG : celui installé pendant longtemps à l'entrée du cimetière St Georges de Haguenau. Son sauvetage est assuré et il occupera bientôt une meilleure place. Son originalité réside dans les deux chronogrammes qu'il porte : "Itante LapIDE CirCVIt VMbra" et "eXhortatIo saLVtarIs VIgILate qVIA nesCItIs qVa hora DoMInVs Vester VentVrVs sIt" (MATH CAP 24 VER 42)

Dans le texte d'un chronogramme, toutes les lettres à signification arithmétique qui sont I, V, X, L, C, D et M doivent être écrites en majuscules. Aucune de ces lettres ne doit y figurer en minuscule. La somme de leurs valeurs individuelles indique alors une date qui ici est 1724.

Les cadrans-stèle monumentaux fleurirent au même siècle dans les jardins des châteaux et des riches demeures.

Citons à titre d'exemple celui de Wasselonne qui, après plusieurs voyages de sauvegarde se repose dans le jardin du presbytère catholique. Naturellement, s'il voit encore le soleil, il ne regarde pas dans la bonne direction et les styles ont été bien chahutés.

Un autre cadran monumental remarquable est le très bel objet pour le moment encore semi-caché au fond des jardins de l'Etablissement Hospitalier de BRUMATH-STEPHANSFELD. Bien orienté, muni de styles inaltérables, il comporte l'originalité d'être muni de deux hémisphères terrestres munis de méridiens métalliques mobiles permettant de déterminer l'heure sur tous les points du globe.

Hélas, ces méridiens mobiles ont déjà bien souffert du temps : la rouille use plus que le travail ! Ce globe terrestre (ici divisé en deux) associé à des cadrans solaires n'est pas unique dans la région : il existe une sculpture semblable dans le cloître de GENGENBACH, près de OFFENBOURG.

Un certain nombre de cadrans peints subsistent aussi, postérieurs bien entendu aux précédentes sculptures. Ils demandent des soins périodiques qui ne sont malheureusement pas toujours dispensés. D'autres cadrans, mieux conservés, sont eux gravés sur des dalles de grès. Ils ont alors, en général, un air plus moderne. Ils sont parfois même récents et ont alors été calculés correctement, ce qui n'est pas plus mal. Mais parfois aussi ils ont subi des restaurations catastrophiques ! Donnons quelques exemples :

- Un cadran tracé sur dalle, sans date, muni d'un style et de divisions corrects, convenablement orienté, sans fioritures, sans auteur. Sans défaut. Un cadran exemplaire ! Sur la place de l'église à Neuwiller-les-Saverne.
- Un très beau cadran à BERGHEIM, daté de 1711. Il a la particularité d'indiquer les heures des levers et couchers du soleil. Très bien rénové.
- Un cadran daté de 1819 gravé sur une dalle fixée sur le mur du temple protestant de SCHILTIGHEIM. Il a été tracé par Jacobus HAUSER.
- Un cadran daté de 1824 peint sur plaque fixée sur le mur au 75 Grand-rue à SAVERNE. Ce cadran est mathématiquement élaboré car, outre les lignes

zodiacales, il porte la représentation de l'Equation du Temps. Il ne faut pas chercher cette courbe sur les cadrans antérieurs car le temps moyen n'a été introduit qu'en début du 19^{ème} siècle !

- Un très beau cadran daté de 1830 peint et très bien entretenu sur le mur du presbytère protestant de BISCHWILLER. Hélas, il n'est pas visible depuis la rue qui passe au nord du bâtiment, et pour le trouver, il faut avoir l'outrecuidance de faire le tour du bâtiment. Mais, est-ce un mal ?
- Un cadran vertical plein sud sur le mur d'une maison particulière à MUNDOLSHEIM. Correctement placé, il est affecté de l'une des erreurs classiques : les intervalles des heures sont régulièrement répartis autour de midi, de 15° en 15°. Or, les angles croissent à partir de la ligne de midi. Sous notre latitude, l'angle entre 11 h -12 h et 13 h - 14 h est de 10°2 et entre 6 h - 7 h et 17 h - 18 h de 20°9 ! Le cadran donne ainsi une heure à peu près correcte vers midi mais de plus en plus fausse dès que l'on s'éloigne de ce moment privilégié.
- Un cadran astronomiquement parfait sur un Collège de BOUXWILLER. Il a été calculé par le regretté Henri BACH, lequel connaissait son métier car il s'est, pendant de nombreuses années, occupé de l'Horloge Astronomique de la Cathédrale. La décoration du cadran est d'inspiration astronomique et n'est naturellement pas liée à la lecture de l'heure.
- Nous avons découvert par un heureux hasard le plus beau des cadrans récents sur une maison de la rue principale à Saasenheim. (route du Rhin). Il nous prouve qu'il y a de nos jours des "cadransiers" de nous inconnus scrupuleux et compétents. Ce cadran, peint sur panneau, est légèrement déclinant. Son inventeur, pour bien en affirmer la rigueur, y indique les coordonnées du lieu. Cela inspire confiance. Il ne porte que deux mots : "TEMPS VRAI". Il n'a pas besoin, pour justifier sa présence des habituelles formules inquiètes sur l'existence ou l'avenir.

Restons dans le domaine de la rigueur avant de nous perdre. L'Alsace est une région extrêmement riche en "méridiennes". On appelle "méridienne" le cadran le plus simple : celui qui ne comprend que la ligne de midi associée le plus souvent, non pas à un style, mais à un simple trou (oeil) dans un disque porté par une tige. Oeil et tige doivent être dans le plan méridien. Lorsque l'image du soleil donnée par l'oeil est coupée en deux par la ligne, il est midi. Compte-tenu que le soleil dont le diamètre apparent est un demi degré défile en deux minutes, on conçoit qu'il est possible de connaître midi à quelques secondes près. Cette précision, associée à la grande simplicité du dispositif fit qu'au siècle dernier on implanta des méridiennes dans les villes et les villages, sur les églises, les mairies et autres bâtiments, pour permettre la remise à l'heure des horloges mécaniques. Dans le Bas-Rhin, les

méridiennes furent principalement installées par la maison d'horlogerie UNGERER tandis que le Haut-Rhin confia cette tâche à l'horloger U. ADAM de Colmar qui les dota de la courbe en 8 de l'Equation du Temps. La plus importante de par son rôle est la méridienne que SCHWILGUE fit installer à côté de l'horloge astronomique dans la cathédrale de Strasbourg même. Une fente percée dans le portail et muni d'un volet permet de laisser pénétrer le soleil pour son fonctionnement. Il est triste qu'actuellement cette belle méridienne soit cachée au public et que souvent son existence même soit ignorée.

Rappelons encore que pendant de nombreuses années les "lunettes méridiennes" dans les observatoires astronomiques, en particulier à Strasbourg, servaient à guetter le soleil à son passage au sud pour déterminer l'heure de midi !

Hélas, tout n'est pas bien dans le monde des cadrans solaires et il nous faut à présent donner quelques exemples des aberrations usuelles :

- La mauvaise mise en place du style est fréquente. Elle est parfois l'effet de l'ignorance originelle, mais très souvent elle est l'effet de la restauration du support du cadran : le style gêne la mise en place d'un échafaudage et voilà qu'on le tord ! Après cela il reste tordu ou prend une nouvelle position qui n'a rien à voir avec le mouvement diurne.
- La mauvaise inscription des heures, très fréquente aussi : en général, l'auteur ou le restaurateur essaye de faire indiquer par le cadran l'heure que lui donne sa montre. On trouve alors généralement 13 heures à la place de 12 heures. Cela est par exemple le cas sur la mairie de BLODELSHEIM. (J'ai rencontré ce décalage plusieurs fois en Allemagne où l'on se rapporte à la MEZ -Mittel Europäische Zeit)

Cette erreur devient parfois abominablement grossière et fait honte par son exhibitionnisme. Ainsi l'imposant cadran peint sur la tour de la porte de TURCKHEIM où l'on trouve à la verticale de la base du style 10 h 1/2 ! On voulait peut-être indiquer 13 h 1/2 et on aurait fait une erreur dyslexique ? A comparer à un cadran similaire situé sur une tour semblable à GENGENBACH (prés de Offenbourg) où l'on a été plus rigoureux !

Une mention particulière revient au cadran rénové de la cave coopérative vinicole de BEBLENHEIM. Pour une fois, un beau cadran peint orne un mur nord-sud (mur dirigé vers l'est) et le style est correctement implanté, parallèlement au mur. Hélas, si les flèches de 8 h, 9 h et peut-être 10 h sont correctement tracées, celles qui suivent sont absolument aberrantes. En particulier, la flèche de 12 h marque l'ombre, non pas du style, mais de l'une des tiges qui supportent le style. Fièrement ce tenon marque midi de son ombre deux fois par an : les jours des équinoxes !

Toutes ces erreurs et fautes restent néanmoins joyeuses, mais combien plus tristes sont les cadrans abandonnés ou même maltraités par leurs maîtres ! Un exemple est ce style sans cadran sur un mur éminemment vénérable à RIQUEWIHR. Un autre ce cadran très haut perché et invisible par le passant de la rue de Wissembourg à STRASBOURG. Et, le plus triste -mais à présent sauvé- ce cadran ou méridienne qui a servi pendant des années de marchepied sur le seuil de l'église de ZINSWILLER.

Une mention particulière pour les fers forgés des supermarchés que l'on accroche sur un mur en s'imaginant posséder un cadran solaire.

Il existe quelques cadrans d'un mauvais goût total qu'il serait inconvenant de citer.

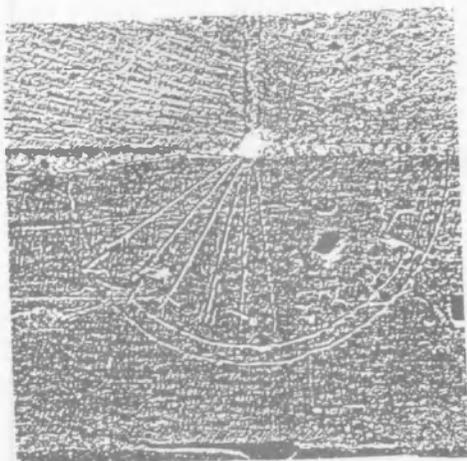
Que conclure ? Imagine-t-on une Vénus de Milo tenant un bébé dans ses bras ? Une Joconde affublée d'un chapeau ? Bien sûr que non ! On respecte ces oeuvres d'art universellement reconnues ! Elles sont à la portée de l'intelligence de tout un chacun. Mais les horloges solaires puisant leur existence aussi loin dans la nuit des temps et tout autant liées à l'art et à l'histoire, pourquoi les néglige-t-on ? Ne sait-on plus les comprendre ?

Une horloge solaire est un témoin animé de l'histoire. Plus encore, un témoin toujours vivant. Il faut apprendre à l'aimer et à le défendre. Surtout à ne pas le mépriser ou le moquer.

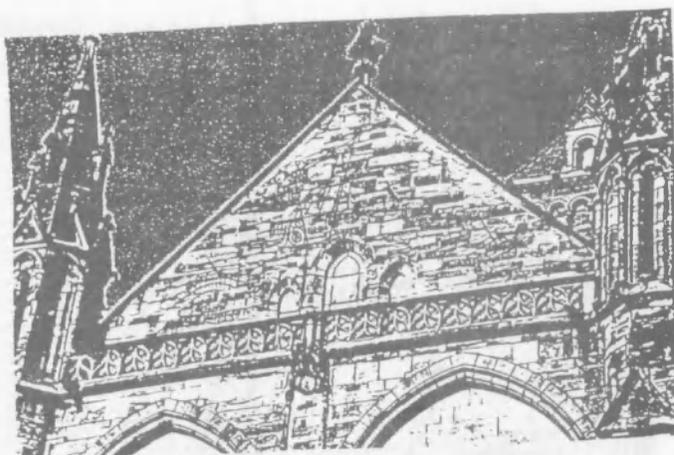
Bibliographie

- "L'Astrologue au cadran solaire de la Cathédrale de Strasbourg" - Théodore Ungerer et André Glory - Editions des Archives Alsaciennes de l'Art (1933)
- "Les cadrans solaires anciens d'Alsace" - René R.J. Rohr - Editions Alsatia (1971)
- "Les horloges silencieuses d'Alsace" - Hervé Staub - Editions COPRUR, sous-presse (1997)

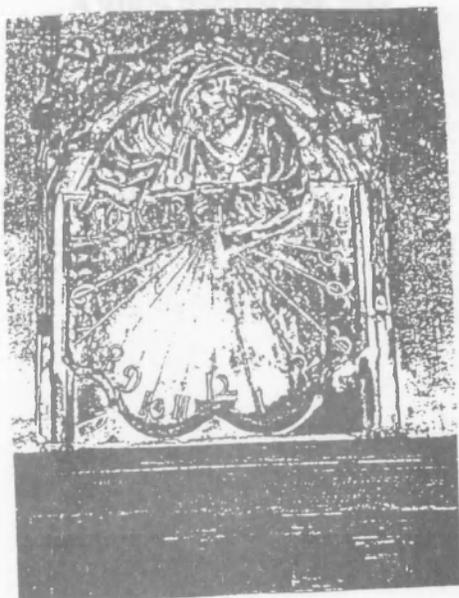
*



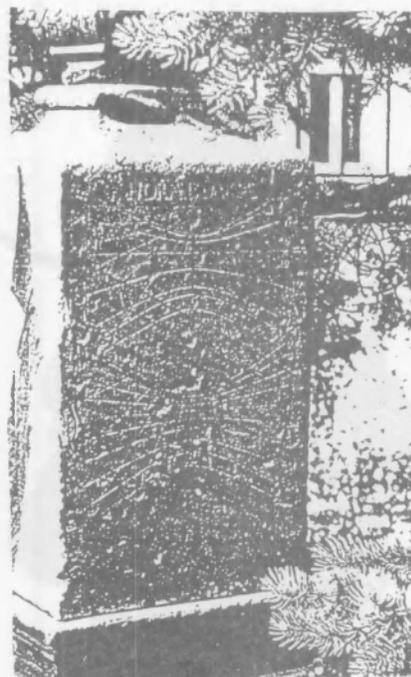
Canonial
Abbaye de Marmoutier



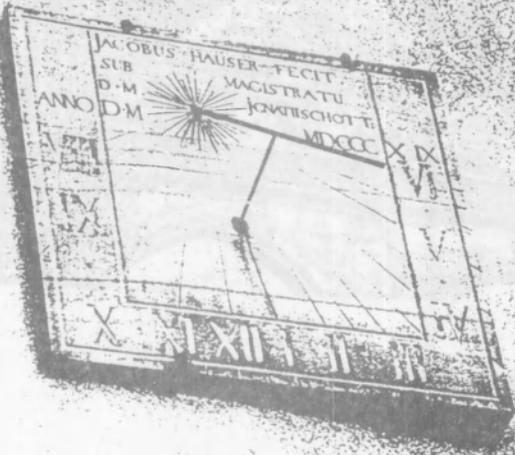
Les cadrans de Dasypodius, fronton sud de la
Cathédrale



L'astrologue au cadran solaire
sur la Cathédrale. Disons plutôt
"le vigneron" !



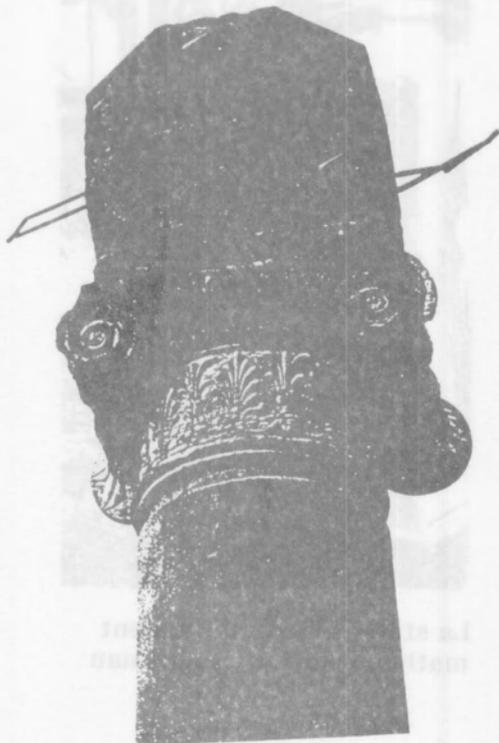
La stèle horaire hautement
mathématique de Haguenau



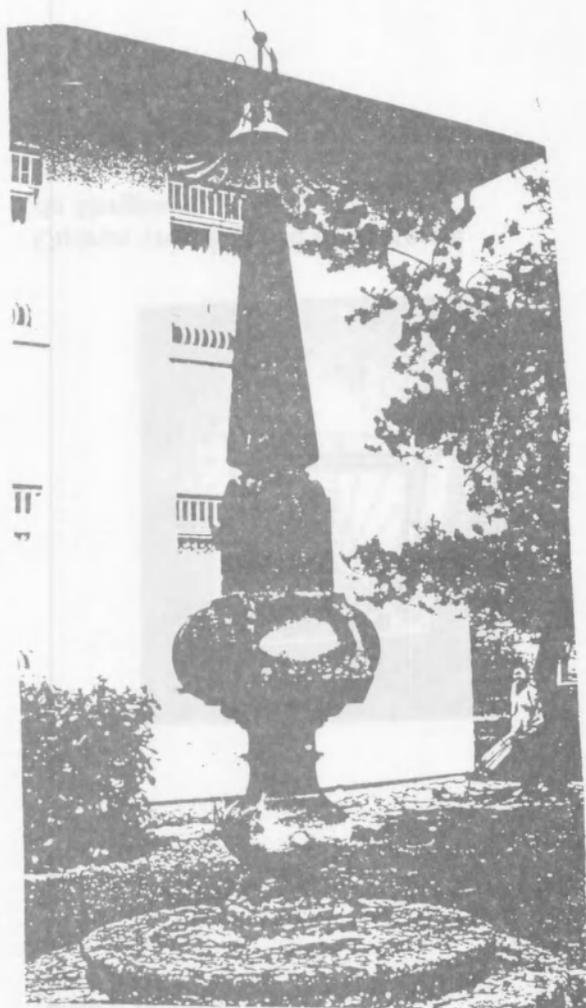
Très beau cadran rénové sur l'église protestante de Schiltigheim



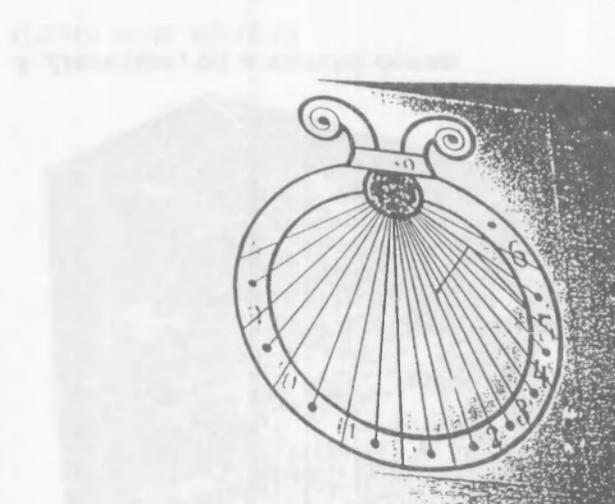
Une méridienne prête à donner l'heure de midi vrai à Neuhauesel



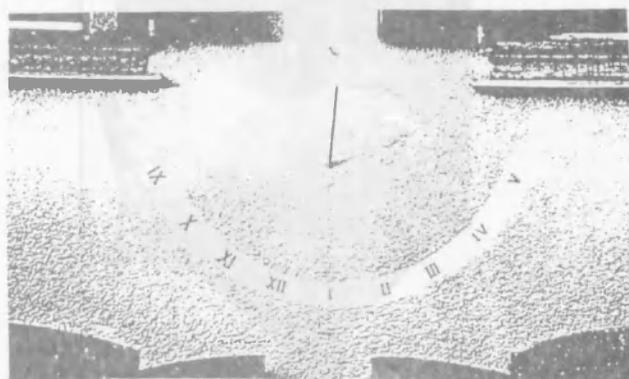
Au croisement des routes à Dorlisheim



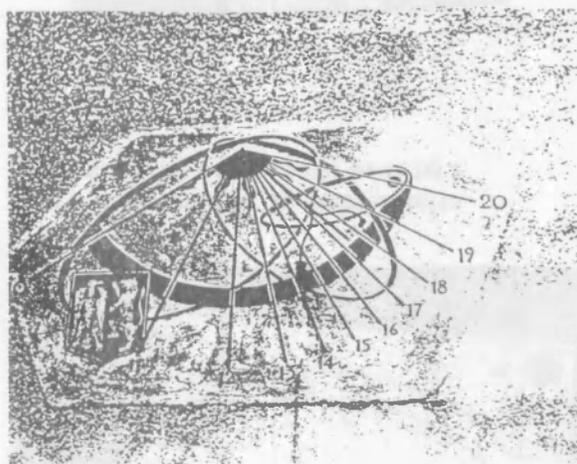
La stèle horaire monumentale de
Brumath - Stéphansfeld. Un véritable
instrument astronomique



Cadran très bien restauré du
presbytère protestant de Bischwiller
(Difficile à repérer)



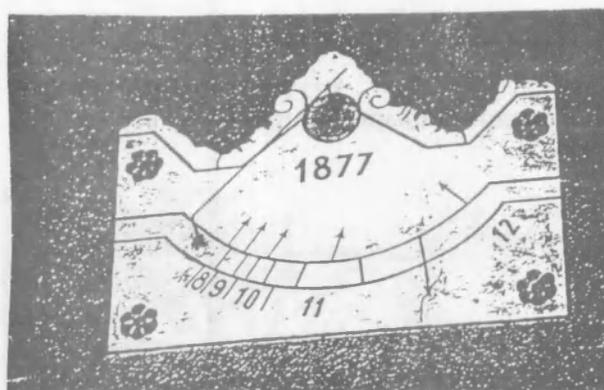
A la mairie de Blodelsheim, on se réfère
à la M.E.Z. !



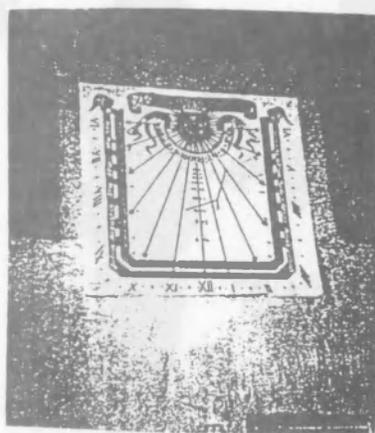
College de Bouxwiller. Cadran moderne
calculé par Henri BACH



Et à Turkheim, le bon vin fait
perdre la tête !



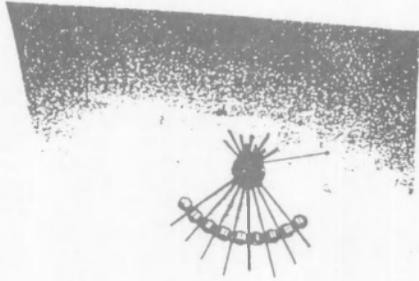
Cave coopérative de Beblenheim.
Vers midi, le soleil perd la tête !



Cadran très élaboré et restauré
de Bergheim



A Zinswiller, on a marché dessus
(Photo de H. STAUB)



Le cadran du supermarché ...



Ces gardes de Haguenau n'ont pas perdu le nord, mais le sud, l'est et l'ouest !



**Enfin, le pied de nez !
Ne soyez pas vexé, riez un bon coup, à...**

L'Univers, de l'Antiquité à nos Jours

ANDRILLAT Henri
Montpellier

L'Univers, de l'Antiquité à nos Jours

ANDRILLAT H.

Vraisemblablement, dès la plus haute antiquité, l'homme s'intéressait déjà à l'univers qui l'entourait, impressionné qu'il était par son immensité, émerveillé sans doute aussi par sa splendeur et les questions qu'il se posait sur sa finitude ou son infinitude, sur son éternité ou sur sa création se firent de plus en plus insistantes avec le développement des civilisations. Mais, faute de bases scientifiques suffisantes, les toutes premières cosmologies furent surtout de simples cosmogonies, récits mythiques d'une création divine de l'univers, ou encore des représentations de celui-ci purement imaginaires et souvent des plus extravagantes, telle cette cosmologie de la Chine antique, qui représentait l'univers comme un char de guerre, dont la Terre serait la caisse et le ciel, le dais.

Ce ne fut que lorsque le génie grec eut porté à un haut niveau de développement la géométrie, que le modèle d'univers prit forme mathématique et c'est alors que l'on vit apparaître la première cosmologie que l'on pourrait qualifier de scientifique, précisément à cause de son modèle géométrique d'univers, la cosmologie géocentrique de l'École d'Athènes, celle de Platon et d'Aristote,¹ que Platon lui-même décrit dans son célèbre dialogue intitulé "Le Timée" : la Terre, immobile au centre du monde ; les étoiles, toutes situées sur la surface d'une sphère gigantesque, dont nous occuperions le centre et qui tournerait d'un mouvement régulier autour de l'axe Nord-Sud, conférant ainsi à chaque étoile un mouvement circulaire et uniforme, parallèle à l'équateur, tel qu'on peut l'observer effectivement sur le ciel.²

Nous savons aujourd'hui ce modèle totalement erroné : la Terre n'est pas immobile ; elle n'est pas au centre du monde ; les étoiles ne sont pas toutes

¹ Platon 428 - 328 av. J.C ; Aristote 384 - 322 av. J.C.

² C'est le « mouvement diurne » des astres, mouvement apparent dû à la rotation de la Terre sur elle-même en un jour

à la même distance de nous, pour être situées sur la surface d'une sphère ; ce n'est pas la sphère des étoiles qui tourne autour de la Terre ; c'est la Terre qui tourne sur elle-même.

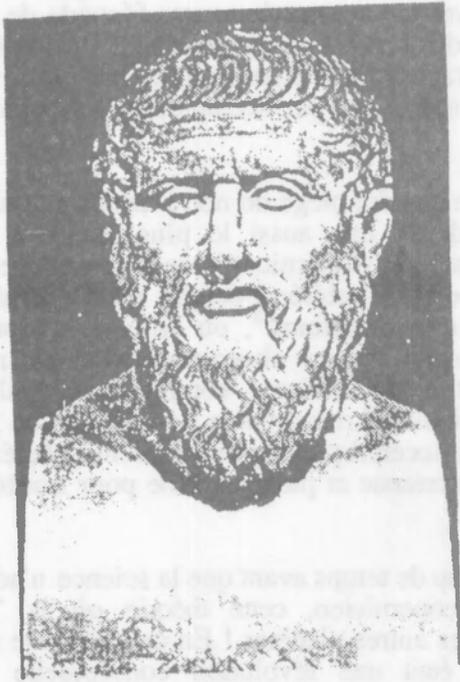
Mais ces erreurs étaient inévitables.

En effet, l'observation joue un rôle crucial en astronomie et en cosmologie, où elle tient lieu d'expérience. Mais pour être efficiente à l'échelle de l'univers tout entier, elle se doit de reposer sur une instrumentation des plus performantes, à la pointe du progrès dans les techniques les plus diverses et qui commence à être réalisable seulement aujourd'hui. Pensons aux miroirs de télescope géants, de 8 ou 10 mètres de diamètres, actuellement construits ou en construction et auxquels l'informatique et l'électronique modernes permettront d'appliquer les méthodes de l'optique adaptative ou de synthèse d'ouverture. Pensons aux techniques spatiales avec leurs télescopes embarqués sur satellites, pour être libérés des absorptions et des perturbations diverses, dues à l'atmosphère terrestre. Pensons encore aux télescopes métalliques gigantesques de la radioastronomie, qui permettent d'atteindre, en ondes radioélectriques, les galaxies et les quasars les plus lointains que nous connaissions, ou encore aux méthodes propres à la spectroscopie, à la photométrie, à l'interférométrie.

Mais si nous sommes dotés aujourd'hui de ces puissants moyens d'observation, nous ne devons pas pour autant ignorer et encore moins mépriser les premiers essais des Anciens dans ce domaine si délicat de la connaissance de l'univers et nous devons le plus grand respect et toute notre admiration à ces pionniers qui, dans l'Antiquité, osèrent comme Platon aborder les grandes questions cosmologiques à l'oeil nu et à main nue, pourrait-on dire, sans le secours de la moindre instrumentation optique, à la seule lumière de leur intelligence et de leur intuition, encourageant, souvent sciemment d'ailleurs, le risque presque inévitable de l'erreur totale, comme ce fut le cas de la cosmologie platonicienne.

A l'époque de Platon, hormis certaines observations simples, stellaires comme celle du mouvement diurne des étoiles, ou planétaires, effectuées certes avec le plus grand soin et, en ce qui concernait les planètes, avec la plus grande régularité, mais à l'oeil nu et dérisoires à l'échelle cosmique, hormis donc de telles observations, les sources de la cosmologie platonicienne ne pouvaient être qu'intuitives ou religieuses.

Intuitives, car, par exemple, dans l'impossibilité où nous nous trouvons d'évaluer, même grossièrement, à l'oeil nu, les distances relatives beaucoup trop grandes des étoiles, c'est bien notre intuition qui nous donne l'illusion de les voir toutes à la même distance de nous et donc sur une sphère céleste dont nous occuperions le centre. Religieuses, car, fort de ses convictions philosophiques spiritualistes, Platon avait voulu fonder son modèle du monde sur un principe religieux, le principe de la perfection divine de l'univers, modélisant celui-ci à l'aide de figures géométriques, la sphère, le cercle, considérées comme parfaites, sans doute pour l'équidistance de tous leurs points à leur centre. Pareillement, l'uniformité des mouvements devait traduire à ses yeux la perfection de l'écoulement du



Platon
musée du Vatican



Aristote
musée du Capitole

temps. Enfin, au centre de tout cet édifice, il voyait un lieu d'immobilité absolue, une place privilégiée pour l'homme, la Terre, que l'on ne sentait effectivement pas bouger.

Ainsi, tout exposé sur l'histoire du concept d'univers au cours des âges pourrait s'intituler : «L'univers ou les pièges de notre intuition». Comme la langue d'Esopé, notre intuition est en effet la pire et la meilleure des choses . la meilleure des choses, à l'échelle humaine, où, véritable intégrale de nos perceptions, elle apparaît effectivement comme la source féconde de notre imagination scientifique ; la pire des choses, si on cherche à l'extrapoler à des domaines démesurés par rapport à l'échelle humaine, le monde microscopique des particules élémentaires, par exemple, ou le gigantisme du cosmos.

Le géocentrisme platonicien fut le premier piège de notre intuition, dans ce domaine de la cosmologie. Il devait être aussi le plus tenace : deux millénaires s'écouleront entre Platon et Copernic. Ce ne sera en effet que peu avant sa mort en 1543, que sera publiée l'oeuvre de Copernic, le fameux "De Revolutionibus orbium coelestium"³, où l'illustre astronome polonais réussira à dénoncer, mais preuves observationnelles en main, cette monumentale erreur que fut le géocentrisme, comme avait d'ailleurs déjà tenté de le faire, dans l'Antiquité, Aristarque de Samos⁴, en ce 3ème siècle avant J.C. , où sa thèse héliocentrique des mouvements planétaires n'avait alors aucune chance d'être retenue et passait même pour troubler le repos des dieux.

Il faudra d'ailleurs encore beaucoup de temps avant que la science n'adopte définitivement l'héliocentrisme copernicien, cette théorie où la Terre tournait autour du Soleil, avec les autres planètes ! En ce milieu de notre 16ème siècle, l'héliocentrisme était une révolution conceptuelle sans précédent. L'héliocentrisme, c'était en effet non seulement le mouvement de la Terre reconnu, et pourtant toujours ressenti, mais c'était surtout l'homme détrôné, de sa place centrale dans le monde, où sa naïveté l'avait orgueilleusement placé. Et pourtant c'était bien là toute la portée, toute la valeur de la révolution copernicienne que d'avoir banalisé la place de la Terre dans l'univers, une idée que les siècles à venir allaient ériger en « principe cosmologique » : non seulement l'homme n'est pas au centre du monde, mais le monde n'a pas de centre. Où que nous puissions être dans l'univers, nos observations à grande échelle, nos mesures, les acquis de notre connaissance cosmologique seraient les mêmes. L'univers ne possède aucun site privilégié, d'où son observation serait particulière, aucune région où les lois de la physique seraient différentes d'ailleurs.

Mais l'abolition d'un tabou tel que le géocentrisme est toujours une avancée considérable de la connaissance, un progrès remarquable de la science, un tournant décisif de la pensée humaine. C'est ainsi que l'héliocentrisme copernicien devait permettre à Johannes Kepler⁵ de

³ Forme décadente du latin classique : *caelestium*

⁴ Aristarque de Samos 310-230 av. J.C.

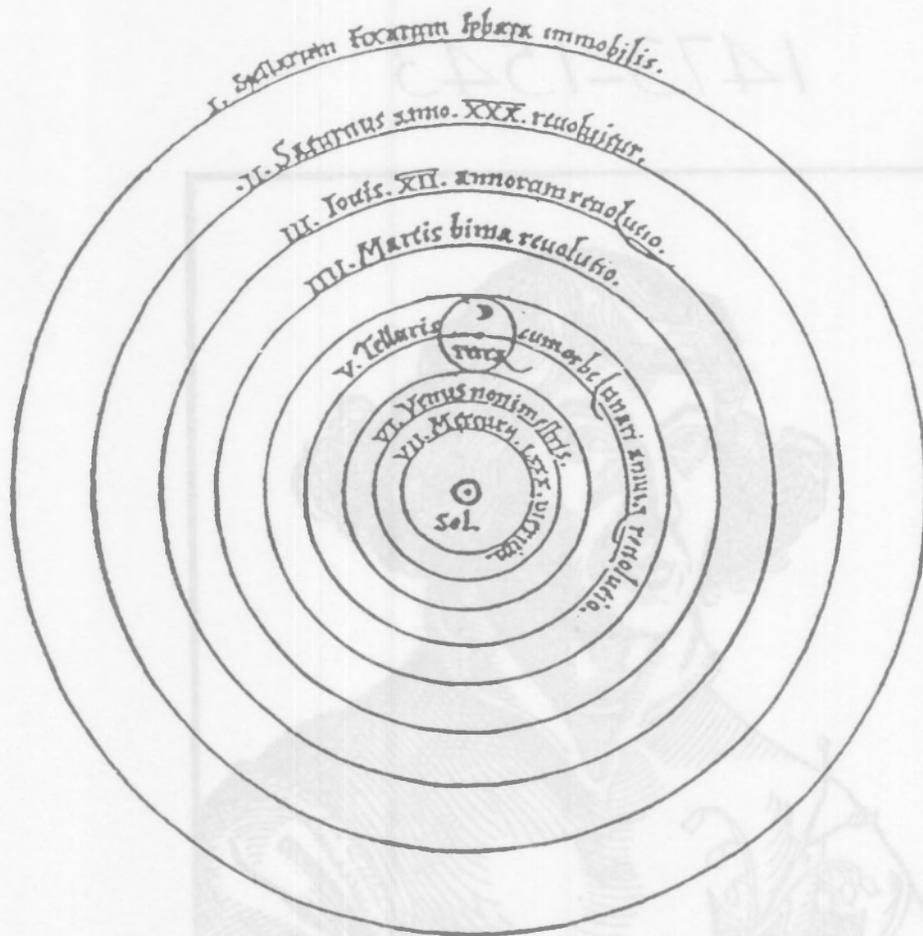
⁵ Johannes Kepler 1571-1630 ; Les deux premières lois : 1609, la troisième : 1619

NICOLAS COPERNIC

1473-1543



AUTO PORTRAIT



L'HELIOCENTRISME COPERNICIEN

Toutes les planètes tournent autour du Soleil.
Seule la Lune tourne autour de la Terre.

découvrir -et de publier, en 1609 et 1619- les véritables lois des mouvements planétaires, recherchées vainement et maladroitement depuis l'Antiquité : des orbites planétaires elliptiques, avec le Soleil en l'un des foyers de l'ellipse ; des mouvements régis par la « loi des aires », qui n'est pas une loi de mouvement uniforme.

Ainsi, déjà dans tout le système solaire, pas d'orbites circulaires, pas de mouvements uniformes, la Terre rabaissée au rang des autres planètes et tournant avec elles autour du Soleil, il ne subsistait plus rien de la cosmologie antique.

Pour autant, la cosmologie n'était pas définitivement morte. Elle devait seulement connaître encore un très long sommeil de près de trois siècles, entre la troisième loi de Kepler de 1619 et le premier modèle d'univers relativiste d'Einstein de 1917.

Le nouveau piège qui devait paralyser son réveil jusqu'au début de ce siècle était l'usage de l'espace euclidien pour décrire à la fois la physique locale et la physique de l'univers dans son ensemble. C'est un espace infini, à 3 dimensions, conçu à l'image naïve d'une pièce d'habitation avec sa longueur, sa largeur, sa hauteur, mais prolongées à l'infini et qui contient les droites pour ses lignes de plus courte distance. On le dit ainsi plat ou sans courbure.

Un tel concept d'espace contraint fortement les lois de la mécanique. Il existe en effet dans la nature un type de mouvement minimal sur lequel s'échafaudent tous les autres mouvements. C'est le mouvement du corps libre, c'est-à-dire libre de l'action de toute force. On l'appelle le mouvement inertiel. Alors dans un espace où les lignes de plus courte distance sont les droites, le mouvement minimal du corps libre doit être rectiligne et, transposée au temps, cette qualité du mouvement d'être minimal lui confère aussi celle d'être un mouvement uniforme.

C'est ainsi que Galilée, le génial fondateur de la mécanique, en pose les bases sous la forme de son célèbre principe d'inertie : le mouvement inertiel du corps libre est nul ou rectiligne et uniforme.

Avec de tels principes de mécanique, Newton, cet autre géant de la science, ne pouvait dans sa théorie de la gravitation, que modéliser celle-ci par une force, puisque le mouvement des planètes n'est pas rectiligne mais elliptique et que le mouvement de la chute des corps n'est pas uniforme mais accéléré. Et Newton de calculer la forme mathématique exacte à donner à cette force pour que l'orbite d'une planète soit effectivement une ellipse, décrite suivant la loi des aires par rapport au Soleil, celui-ci occupant l'un des foyers de l'ellipse. Il montrera aussi qu'avec d'autres conditions initiales, l'orbite de la planète aurait pu être une autre forme de conique, une parabole ou une branche d'hyperbole. Une modélisation remarquable du phénomène de la gravitation, valide à rendre compte de phénomènes apparemment aussi différents que le mouvement de la chute





GALILEE

1564 - 1642



ISAAC NEWTON

1642 -1727

La loi de gravitation 1687

des corps ou le mouvement de la lune ou des planètes et qui allait donner naissance à cette science, merveilleuse de précision, la mécanique céleste.

Cependant, on sait qu'Einstein⁶ allait édifier au début de ce siècle ses théories de la relativité d'une portée exceptionnelle en physique fondamentale, précisément parce que leurs principes mêmes remettaient en cause les concepts les plus intuitifs, et en l'occurrence faux, de la pensée humaine : un temps absolu et un espace plat, sans courbure, dont l'espace euclidien était la représentation habituelle.

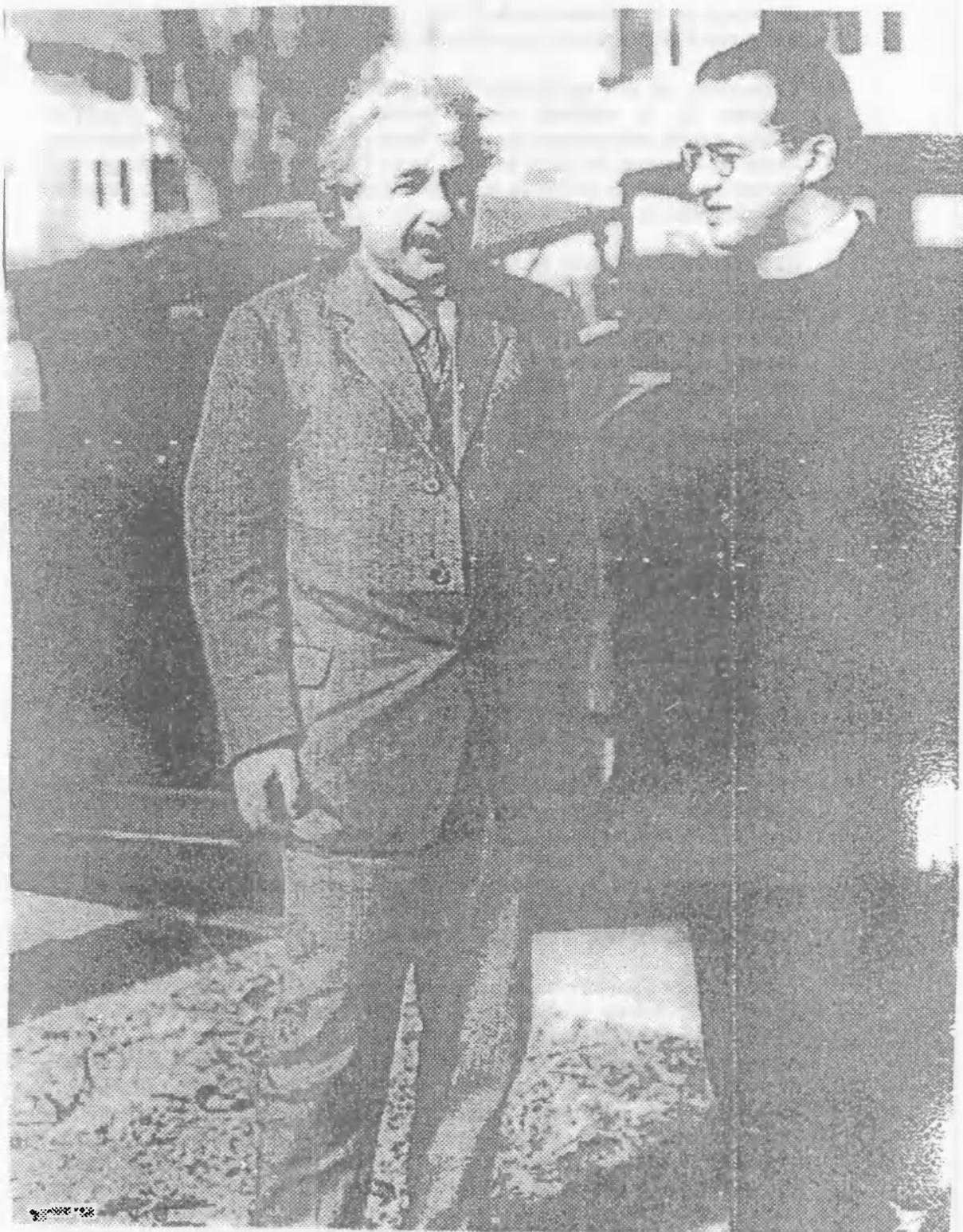
Sa théorie de la relativité restreinte à peine achevée, Einstein découvre que la théorie de Newton n'est pas conforme aux principes relativistes et donc, malgré l'excellence de ses résultats, la théorie de Newton ne pouvait être qu'une approche lointaine du phénomène gravitationnel. Qu'à cela ne tienne ! Einstein va reconstruire une nouvelle théorie de la gravitation, relativiste celle-là, la relativité générale, en modélisant évidemment de façon différente le phénomène de la gravitation. Or, le mouvement gravitationnel est encore un mouvement naturel, comme le mouvement inertiel galiléen. Pourquoi ne serait-il pas aussi, comme lui, un mouvement libre, libre de l'action de toute force et en particulier de la force newtonienne, mais alors dans un espace courbe et plus précisément dans un espace du second degré, dont les lignes de plus courte distance sont les courbes du second degré, les coniques, l'ellipse, la parabole, l'hyperbole, très exactement les trajectoires gravitationnelles orbitales, comme l'avait déjà si bien démontré la théorie de Newton.

Ainsi, c'est à travers sa théorie relativiste de la gravitation qu'Einstein découvre la très déconcertante mais fondamentale propriété de l'espace physique, sa courbure, une étincelle de génie qui allait faire renaître la cosmologie et servir de base à tous ses développements futurs.

Face au succès de la relativité générale, après ses premières vérifications expérimentales, Einstein, encouragé par cette réussite va vouloir extraire des équations de la relativité générale, mais adaptées cette fois au problème cosmologique, la solution d'un espace universel courbe et même suffisamment courbe, pour se refermer entièrement sur lui-même, à l'image de la surface d'une sphère (mais avec une dimension de plus) et ne pouvant par conséquent contenir qu'un univers fini.

La finitude de l'univers était l'une des grandes idées, chères à Einstein, qui voyait le problème cosmologique en physicien et l'univers seulement comme un objet d'étude de la physique. Or l'infini est un concept mathématique des plus utiles dans cette science, certes, comme dans l'écriture du formalisme scientifique, mais qui n'a aucun sens en physique. La physique est la science du mesurable et l'infini n'est pas mesurable. Alors, lorsque Einstein découvre que ses équations de la relativité générale possèdent effectivement une telle solution, celle d'un espace courbe, fermé sur lui-même et fini et qu'il découvre de surcroît que cette solution est unique, comment ne serait-il pas convaincu qu'il détient là la solution du problème cosmologique et, de fait, ce premier modèle d'univers relativiste

⁶ Albert Einstein 1879-1955



Albert EINSTEIN et Monseigneur LEMAITRE

d'Einstein de 1917 devait se révéler la matrice de tous les modèles futurs de la cosmologie relativiste moderne.

Certes, la finitude de l'univers n'était pas une idée nouvelle. Les siècles passés avaient débattu sans fin la question de savoir si l'univers était fini ou non. Mais ce qu'apportait la solution finie des équations de la relativité générale, c'était la possibilité de démontrer la finitude de l'univers, par l'observation.

En effet, dans l'esprit de la relativité générale, la courbure de l'espace est due à la présence des masses, qui l'incurvent comme elles le feraient d'un milieu physique, impalpable certes mais réel. C'est là, la première éclosion de l'idée que l'espace universel n'est pas un concept abstrait, mais un milieu physique faisant partie intégrante de l'univers.

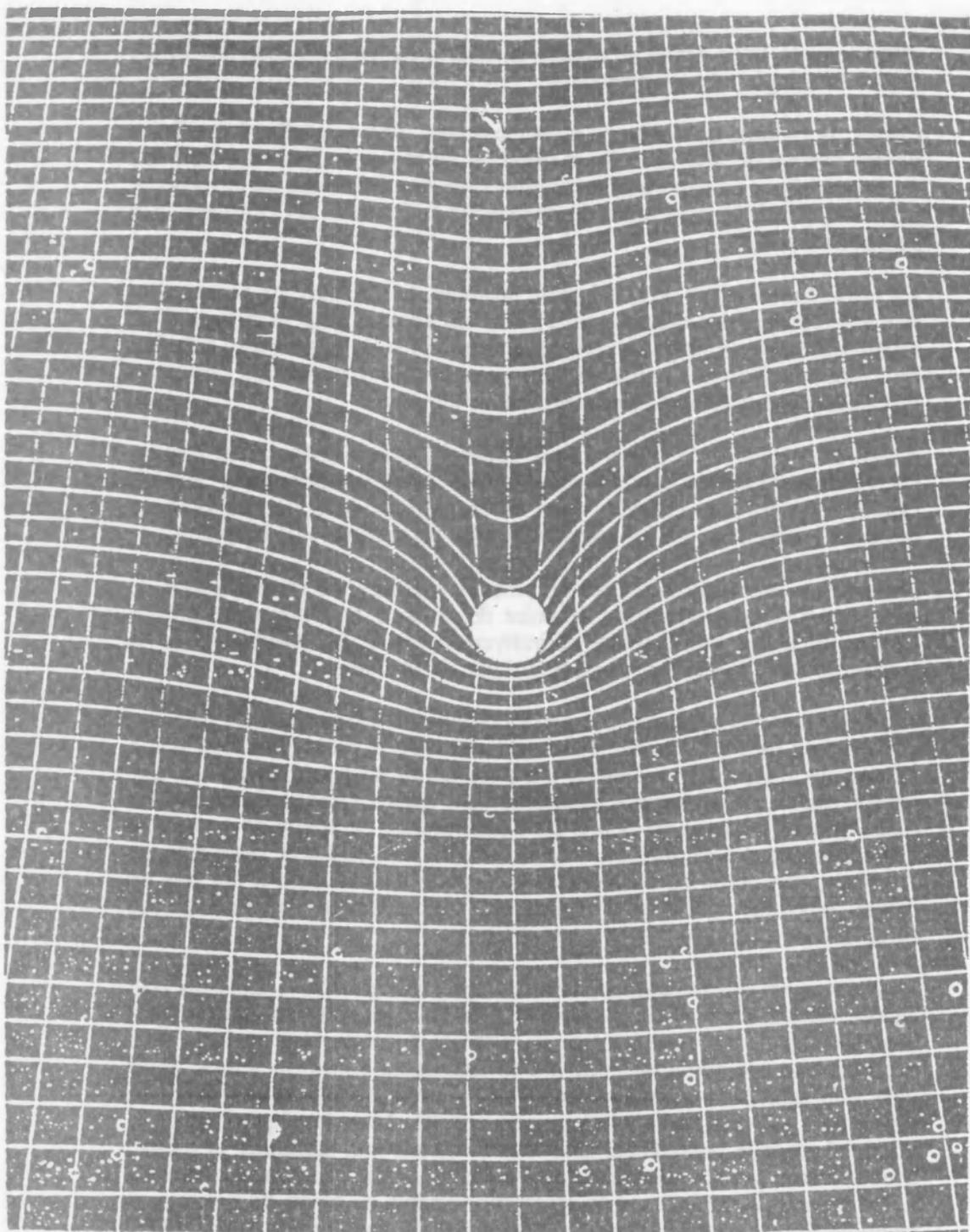
Ainsi, si la densité de matière dans l'univers était suffisamment élevée, c'est-à-dire dépassait une certaine densité critique -que nous savons calculer aujourd'hui- l'espace serait alors suffisamment courbé pour se refermer entièrement sur lui-même, à l'image de la surface de la sphère.

Nous avons aujourd'hui, comme il sera dit plus bas, de fortes raisons de penser que nous sommes sur le point de pouvoir apporter cette preuve observationnelle, qui établira définitivement et indiscutablement et la fermeture de l'espace et, partant, la finitude de l'univers.

Ainsi, les théories d'Einstein ont permis de fixer la forme générale de notre univers : un univers courbe, fermé sur lui-même et fini, mais non pas à l'image du volume d'une sphère, qui posséderait un point particulier, son centre, exclus par le principe cosmologique, mais à l'image de la surface d'une sphère, où tous les points sont équivalents. Le centre d'une sphère n'appartient pas à sa surface. Ainsi, dans la modélisation relativiste de l'univers, son rayon de courbure et son centre de courbure n'ont pas de réalité physique ; ils sont seulement des éléments mathématiques caractérisant les propriétés de sa courbure.

Pourtant, avec son remarquable modèle d'univers de 1917, Einstein était encore victime d'une illusion grave. En effet, cette solution unique qu'il avait retenue de ses équations de la relativité générale était statique. Elle décrivait une géométrie de l'univers invariable au cours du temps. Pour cela, elle semblait particulièrement bien convenir à l'idée qu'Einstein se faisait d'un univers immuable à grande échelle. Mais les équations de la relativité générale possédaient aussi des solutions non statiques, et même, avec le même type de géométrie fermée et finie, mais qui correspondraient à des univers dynamiques, à la géométrie variable au cours du temps, par exemple des univers en expansion ou en contraction. Et lorsqu'en 1922, un mathématicien russe, du nom d'Alexandre Friedman, météorologiste de son état et grand passionné de relativité générale, découvre ces solutions cosmologiques non statiques et en fait part à Einstein, celui-ci refusera délibérément de les prendre en considération.

Ainsi, on peut être un Einstein, avec cet extraordinaire génie, qui lui permit d'édifier les théories de la relativité, bases de toute la physique moderne,



La courbure de l'espace par la présence des masses

avec surtout cette extraordinaire liberté d'esprit, qui lui permit de remettre en cause les concepts les plus profonds de la pensée humaine, l'espace et le temps, et pourtant, se laisser prendre, encore à un piège de notre intuition, à l'idée reçue, enracinée depuis des millénaires dans la pensée des hommes, l'idée de l'immutabilité de l'univers. Le mouvement, les transformations, l'évolution, tout cela, c'était l'affaire de la localité. A grande échelle, l'univers se devait de demeurer indéfiniment, comme en majesté, toujours semblable à lui-même. Et c'est ainsi qu'Einstein et évidemment Friedman passèrent, en 1922, à côté de la prévision théorique possible de l'expansion de l'univers, dont ils tenaient pourtant le modèle en main. Et Einstein ne se ralliera à l'idée de l'expansion de l'espace et d'un univers évolutif qu'après la découverte de la loi de Hubble, publiée en 1929. Elle énonçait un décalage systématique vers le rouge du spectre des galaxies, proportionnel à leur distance, traduisant leur apparente récession générale, due en fait à l'expansion de l'espace, interprétation fort hardie à l'époque, que l'Abbé Lemaître de Louvain fut le premier à défendre.

Reviendrons-nous, à propos des découvertes d'Edwin Hubble⁷, sur le rôle essentiel de l'observation en astronomie ?

Sans vouloir diminuer en rien l'insigne mérite de l'astrophysicien américain, ce fut bien pourtant la mise en service, en 1924, à l'Observatoire du Mont Wilson, aux Etats-Unis, du plus grand télescope du monde à cette époque (qui n'avait pourtant qu'un miroir de 2,50 mètres de diamètre), qui permit à Edwin Hubble la fabuleuse découverte de l'univers extragalactique, le Royaume des Nébuleuses, comme il l'appellera.

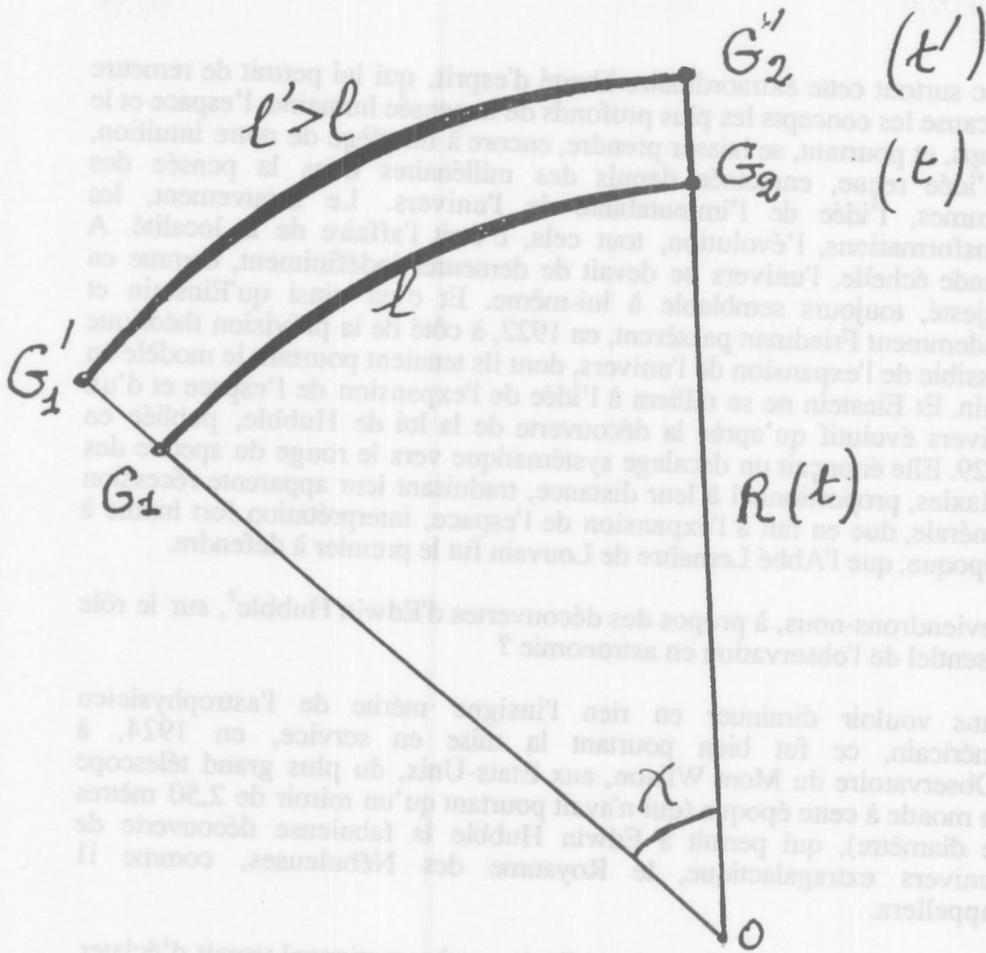
Avec cette découverte, le concept d'univers observationnel venait d'éclater. Jusque là, on ne savait presque rien sur l'univers à grande échelle. C'est à peine si un consensus général commençait à s'établir sur la structure de notre propre galaxie, qui, après tout, aurait pu constituer tout l'univers. Et voilà que, par millions, des galaxies apparaissaient sur les clichés du Mont Wilson. Aujourd'hui, cette découverte de Hubble nous livre le plus extraordinaire panorama : l'univers en son état actuel. Des milliards de galaxies, distantes de nous jusqu'à des milliards d'années-lumière et constituées, chacune comme la nôtre, de quelque cent milliards d'étoiles, avec sans doute comme notre Soleil, leur cortège de planètes, dont certaines abritent peut-être la vie, comme la planète Terre.

La forme de cet univers ? Une géométrie courbe, fermée et finie, à l'image de la surface de la sphère, mais avec une dimension de plus et surtout en expansion.

Les dimensions de cet univers ? Des dizaines de milliards d'années-lumière.

Mais ce qu'Edwin Hubble avait découvert, puis étudié, c'était évidemment la composante matérielle de l'univers, dans sa partie visible, faite d'astres lumineux : un véritable gaz de galaxies, avec pourtant une homogénéité

⁷ Edwin Hubble 1889-1953



Même si les galaxies G_1 et G_2 ne bougent pas l'une par rapport à l'autre, dans l'espace sphérique en trait appuyé, (angle χ constant), l'effet de décalage spectral vers le rouge existe, à cause de l'expansion de l'espace, due à la diminution de sa courbure (R augmente au cours du temps). Cette variation de la courbure se représente fictivement aussi bien à partir d'un seul centre (figure ci-dessus) qu'à partir de centres quelconques, rayons et centres de courbure n'ayant pas de réalité physique (figure suivante), ceux-ci n'étant que des éléments mathématiques de représentation.

L'espace physique varie mais ne se déplace dans rien.

assez médiocre, à rechercher plutôt à l'échelle des amas, voire des
superamas de galaxies, au lieu de celle des galaxies elles-mêmes. Le principe
cosmologique serait-il alors en défaut ? Nous verrons bientôt qu'il n'en est
rien et ce principe pourra continuer à être reconnu comme le dernier aspect
des physiciens continuent à retenir.

Mais surtout, Edwin Hubble avait découvert, avec sa célèbre loi, le
caractère dynamique et évolutif de l'univers. L'univers avait une histoire.
La véritable cosmologie était née avec la loi de Hubble. Elle était devenue
possible grâce aux théories d'Einstein.

Ce ne sera que plus tard que les composants de l'univers, autres que sa
composante matérielle, seront découverts et pris en compte : la
composante de radiation et la composante énergétique du vide.

On est toujours surpris d'apprendre que les photons émis par les amas
lumineux forment une partie négligeable de la composante de radiation de
l'univers. Sa partie principale est faite de photons thermiques, produits lors
du transfert de l'énergie du big bang, sous des températures
alors extraordinaires, de l'ordre de quelques milliards d'années.
L'expansion de l'espace, depuis cette époque, a refroidi ces photons et les a
considérablement étirés. C'est ainsi que l'on a découvert en 1965, par les
rayonnements de 3K bien connus et découverts en 1965 par les
radioastronomes Penzias et Wilson.

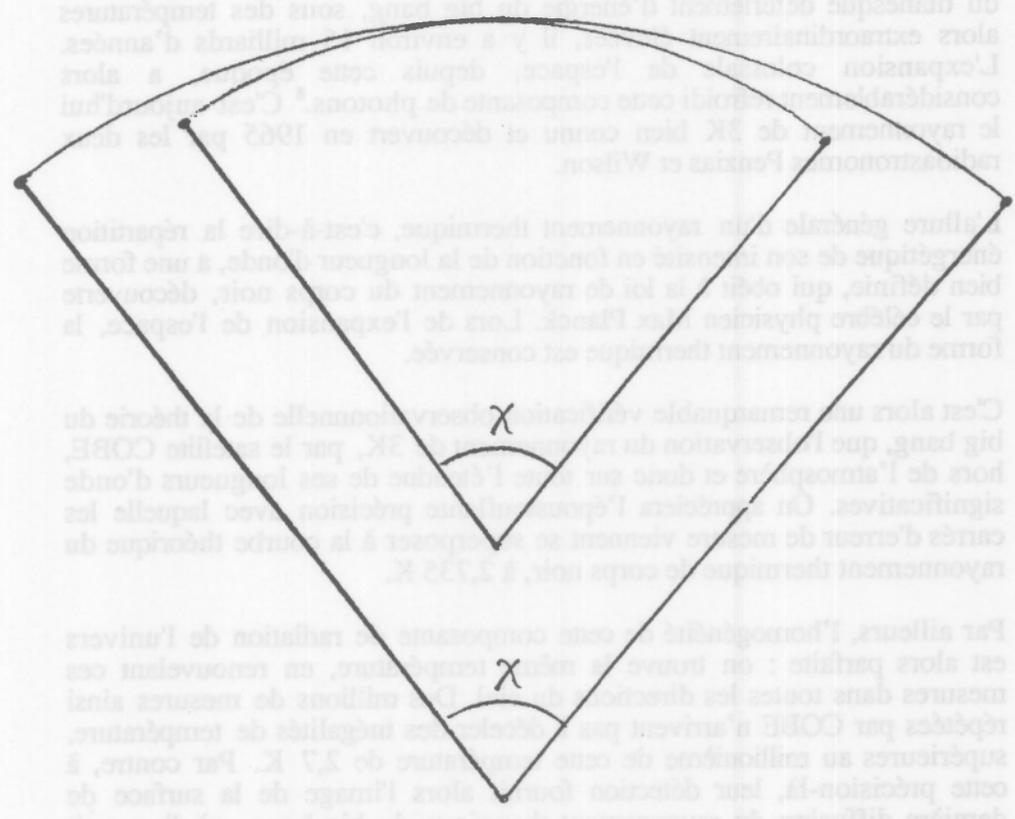
Malgré toutes les tentatives de rayonnement thermique, c'est-à-dire la répartition
énergétique de son rayonnement en fonction de la longueur d'onde, à une loi
bien définie, qui obéit à la loi de rayonnement du corps noir, découverte
par le célèbre physicien Max Planck. Lors de l'expansion de l'espace, la
forme du rayonnement thermique est conservée.

C'est alors un rayonnement de corps noir, à une température de 2,735 K.
big bang, que l'observation du rayonnement du corps noir, par le satellite COBE,
hors de l'atmosphère et donc au-dessus de la turbulence de nos télescopes d'ondes
significatives. On a ainsi obtenu une précision avec laquelle les
carrés d'erreur de mesure viennent se rajouter à la courbe théorique du
rayonnement thermique du corps noir, à 2,735 K.

Par ailleurs, l'homogénéité de la composante de radiation de l'univers
est alors prouvée : on trouve en effet, au cours de ces rayonnements, des
mesures dans toutes les directions, à des millions de millions de mesures ainsi
répétées par COBE à une précision de l'ordre de 10⁻⁵. Par contre, à
supérieures au millionième de cette précision, on a alors l'image de la surface de
cette précision. La leur détection lors de l'expansion du big bang, on voit
devenir diffuse le rayonnement thermique du big bang, on voit
s'amorcer les premières structures des futures structures de l'univers,
quand celui-ci avait seulement quelques 300 000 années d'âge.

Nous avons aujourd'hui de bonnes raisons de penser qu'une très
importante partie de matière, jusqu'alors invisible, fait peut-être de

* La loi thermique de l'univers s'écrit : $kT = C\lambda$



assez médiocre, à rechercher plutôt à l'échelle des amas, voire des superamas de galaxies, qu'à l'échelle des galaxies elles-mêmes. Le principe cosmologique serait-il alors en défaut ? Nous verrons bientôt qu'il n'en est rien et ce principe pourra continuer à être reconnu comme le dernier auquel les physiciens consentiraient à renoncer.

Mais surtout, Edwin Hubble avait découvert, avec sa célèbre loi, le caractère dynamique et évolutif de l'univers. L'univers avait une histoire. La véritable cosmologie était née avec la loi de Hubble. Elle était devenue possible grâce aux théories d'Einstein.

Ce ne sera que plus tard que les composantes de l'univers, autres que sa composante matérielle, seront découvertes et prises en compte : la composante de radiation et la composante énergétique du vide.

On est toujours surpris d'apprendre que les photons émis par les astres lumineux forment une partie négligeable de la composante de radiation de l'univers. Sa partie principale est faite de photons thermiques, produits lors du titanesque déferlement d'énergie du big bang, sous des températures alors extraordinairement élevées, il y a environ 15 milliards d'années. L'expansion colossale de l'espace, depuis cette époque, a alors considérablement refroidi cette composante de photons.⁸ C'est aujourd'hui le rayonnement de 3K bien connu et découvert en 1965 par les deux radioastronomes Penzias et Wilson.

L'allure générale d'un rayonnement thermique, c'est-à-dire la répartition énergétique de son intensité en fonction de la longueur d'onde, a une forme bien définie, qui obéit à la loi de rayonnement du corps noir, découverte par le célèbre physicien Max Planck. Lors de l'expansion de l'espace, la forme du rayonnement thermique est conservée.

C'est alors une remarquable vérification observationnelle de la théorie du big bang, que l'observation du rayonnement de 3K, par le satellite COBE, hors de l'atmosphère et donc sur toute l'étendue de ses longueurs d'onde significatives. On appréciera l'époustouflante précision avec laquelle les carrés d'erreur de mesure viennent se superposer à la courbe théorique du rayonnement thermique de corps noir, à 2,735 K.

Par ailleurs, l'homogénéité de cette composante de radiation de l'univers est alors parfaite : on trouve la même température, en renouvelant ces mesures dans toutes les directions du ciel. Des millions de mesures ainsi répétées par COBE n'arrivent pas à déceler des inégalités de température, supérieures au millionième de cette température de 2,7 K. Par contre, à cette précision-là, leur détection fournit alors l'image de la surface de dernière diffusion du rayonnement thermique du big bang, où l'on voit s'amorcer les premières ébauches des futures structures de l'univers, quand celui-ci avait seulement quelque 300 000 années d'âge.

Nous avons aujourd'hui de bonnes raisons de penser qu'une très importante quantité de matière, massive mais invisible, faite peut-être de

⁸ La loi thermique de l'univers s'écrit : $R.T. = Cte$

neutrinos ou d'autres particules dites exotiques, emplit tout l'espace universel, à l'image des photons du 3K, avec aussi, comme ce rayonnement thermique, une excellente homogénéité. Il semble donc assez dérisoire de vouloir la découvrir sur la seule composante matérielle lumineuse que représentent les galaxies et dont on prévoit aujourd'hui qu'elle ne serait que le centième, et peut-être encore moins, de la composante matérielle totale de l'univers.

Par ailleurs, la nature de cette matière invisible, souvent appelée pour cela "matière noire", fait actuellement l'objet de recherches très actives en cosmologie observationnelle. Mais sa présence ne fait plus guère de doute et sa masse, considérée encore comme "masse manquante", pourrait à elle seule assurer la fermeture de l'espace et donc prouver la finitude de l'univers, selon la méthode envisagée par Einstein. Cette masse manquante, une fois découverte, expliquerait de surcroît la quasi platitude, en fait la très faible courbure de notre espace physique, qui le fit prendre pour un espace euclidien.

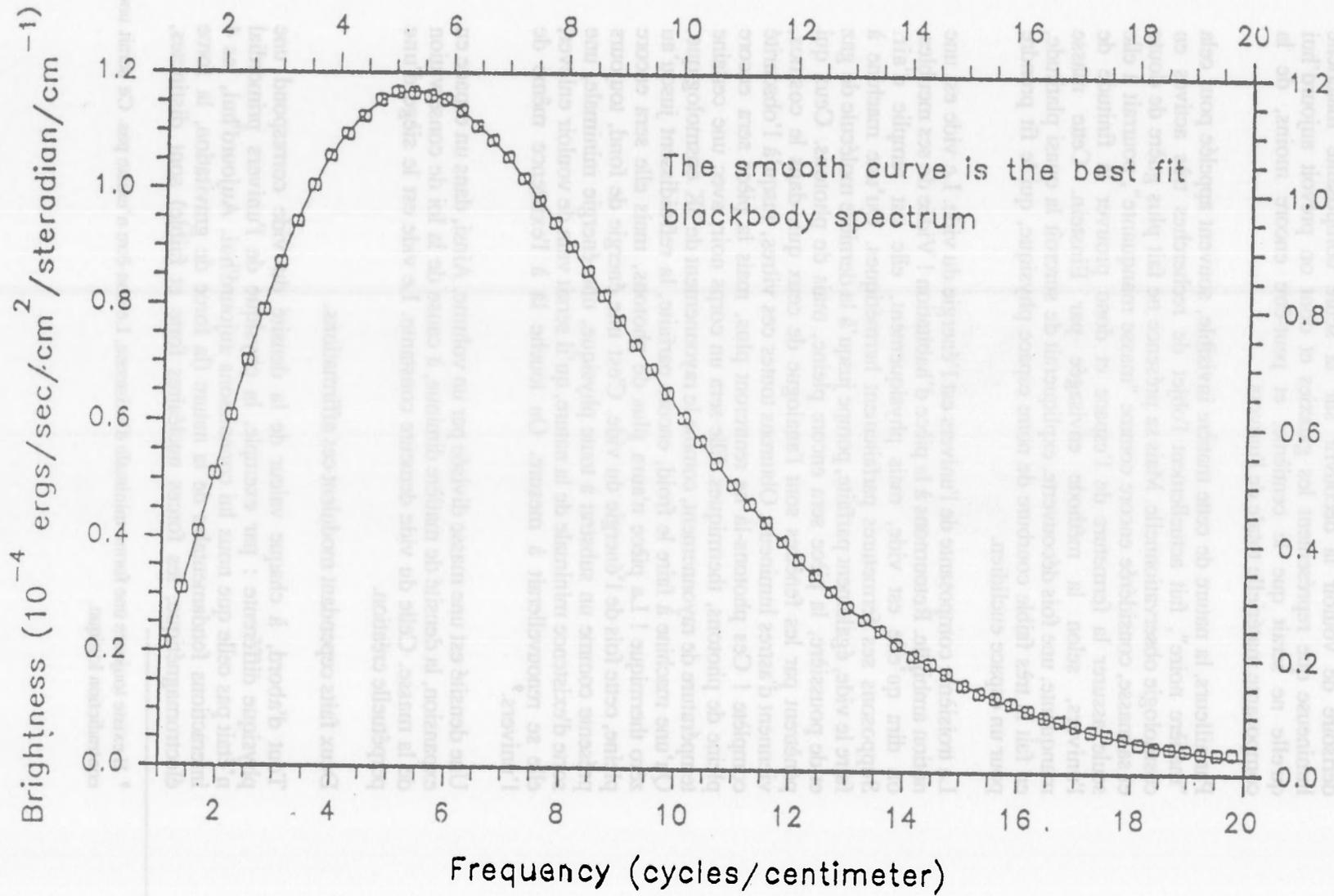
La troisième composante de l'univers est l'énergie du vide. Le vide est une notion ambiguë. Retournons à la pièce d'habitation ! Vidée de ses meubles, on dira qu'elle est vide, mais physiquement, elle est remplie d'air. Supposons ses fermetures parfaitement hermétiques. Qu'une machine à faire le vide, également parfaite, pompe jusqu'à la dernière molécule de gaz et de poussière, la pièce sera encore pleine, mais de photons. Ceux qui pénètrent par les fenêtres sont l'analogue de ceux qui, dans le cosmos, viennent d'astres lumineux. Obturons toutes ces vitres, jusqu'à l'obscurité complète ! Ces photons-là ne rentreront plus, mais la pièce sera encore pleine de photons, thermiques. Elle sera un corps noir, avec une certaine température de rayonnement, comme le rayonnement de 3K cosmologique. Qu'une machine à faire le froid, encore parfaite, la refroidissent jusqu'au zéro thermique ! La pièce n'aura plus de photons, mais elle sera encore pleine, cette fois de l'énergie du vide. C'est une énergie de fond, toujours présente comme un substrat à toute physique, une énergie minimale, une sorte d'existence minimale de la nature, qu'il serait vain de vouloir enlever, elle se renouvellerait à mesure. On touche là à l'existence même de l'univers.⁹

Une densité est une masse divisée par un volume. Ainsi, dans un espace en expansion, la densité de matière diminue, à cause de la loi de conservation de la masse. Celle du vide demeure constante. Le vide est le siège d'une perpétuelle création.

Deux faits cependant modulent ces affirmations.

Tout d'abord, à chaque valeur de la densité du vide correspond une physique différente : par exemple, la physique de l'univers primordial n'était pas celle que nous lui connaissons aujourd'hui. Aujourd'hui, les 4 interactions fondamentales de la nature (la force de gravitation, la force électromagnétique, les forces nucléaires forte et faible) sont distinctes,

⁹ Il existe toujours une forme minimale d'existence. Le non-être n'existe pas. Ce serait une contradiction logique.



Le rayonnement de corps noir de l'univers actuel, à 3 degrés



La carte du rayonnement thermique de l'univers à 300.000 ans d'âge

alors qu'elles n'en formaient qu'une dans les tout premiers instants de l'univers. Il est difficile, voire impossible, d'imaginer la physique correspondante. On sait cependant qu'elle était instable et dotée d'une densité d'énergie du vide colossale. A sa rupture d'équilibre, une succession fulgurante de brisures de symétries a alors séparé une à une les 4 interactions de leur état unifié, conduisant ainsi à la physique actuelle, stable, et avec une densité de vide devenue très faible, mais à nouveau constante, à sa nouvelle valeur.

L'autre fait est qu'à l'échelle des phénomènes quantiques cette valeur constante de la densité du vide n'est qu'une valeur moyenne, autour de laquelle l'énergie du vide fluctue de façon aléatoire. A l'échelle quantique, la ligne la plus parfaite devient une fractale et la surface la plus lisse, un chaos.

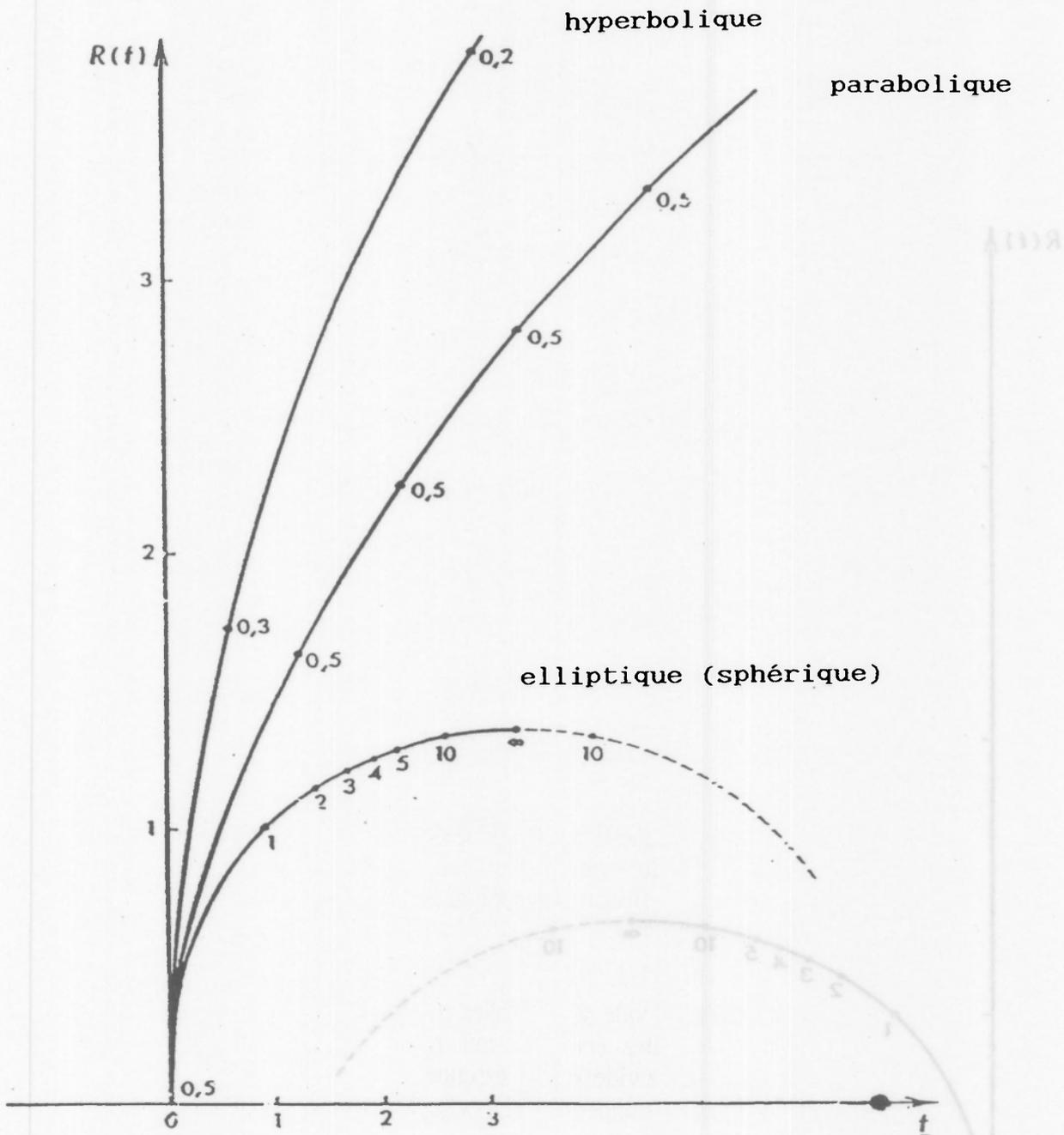
Toutes ces propriétés du vide sont établies par la physique des particules élémentaires et des hautes énergies, qui rejoint la cosmologie par la physique du big bang. Le vide, c'est l'essence même de la physique et les propriétés du vide conditionnent toute la dynamique initiale et future de l'univers.

Les courbes d'évolution de l'univers sont déduites des équations de la relativité générale, pour chaque type de modèle géométrique. Le modèle correspond toujours à un espace du second degré, donc elliptique (ou sphérique), parabolique ou hyperbolique. On se limitera aux espaces elliptiques ou sphériques, fermés sur eux-mêmes et finis.

En introduisant dans les équations de la relativité générale une densité variant comme l'inverse du volume, on obtient la courbe d'évolution de la phase matérielle de l'univers. C'est sa phase finale d'expansion, dominée par la densité d'énergie de masse de la matière. Sur cette courbe, on voit que, depuis un big bang originel où l'expansion de l'espace est fulgurante, l'expansion générale est décélérée et se ralentit de plus en plus jusqu'à l'extension maximale de l'espace. L'évolution de l'univers se poursuit alors par une phase de contraction, symétrique de la phase d'expansion et s'achevant par l'implosion totale de l'univers en un big crunch cataclysmique, tout aussi fulgurant que le fut, à l'origine, l'explosion primordiale du big bang.

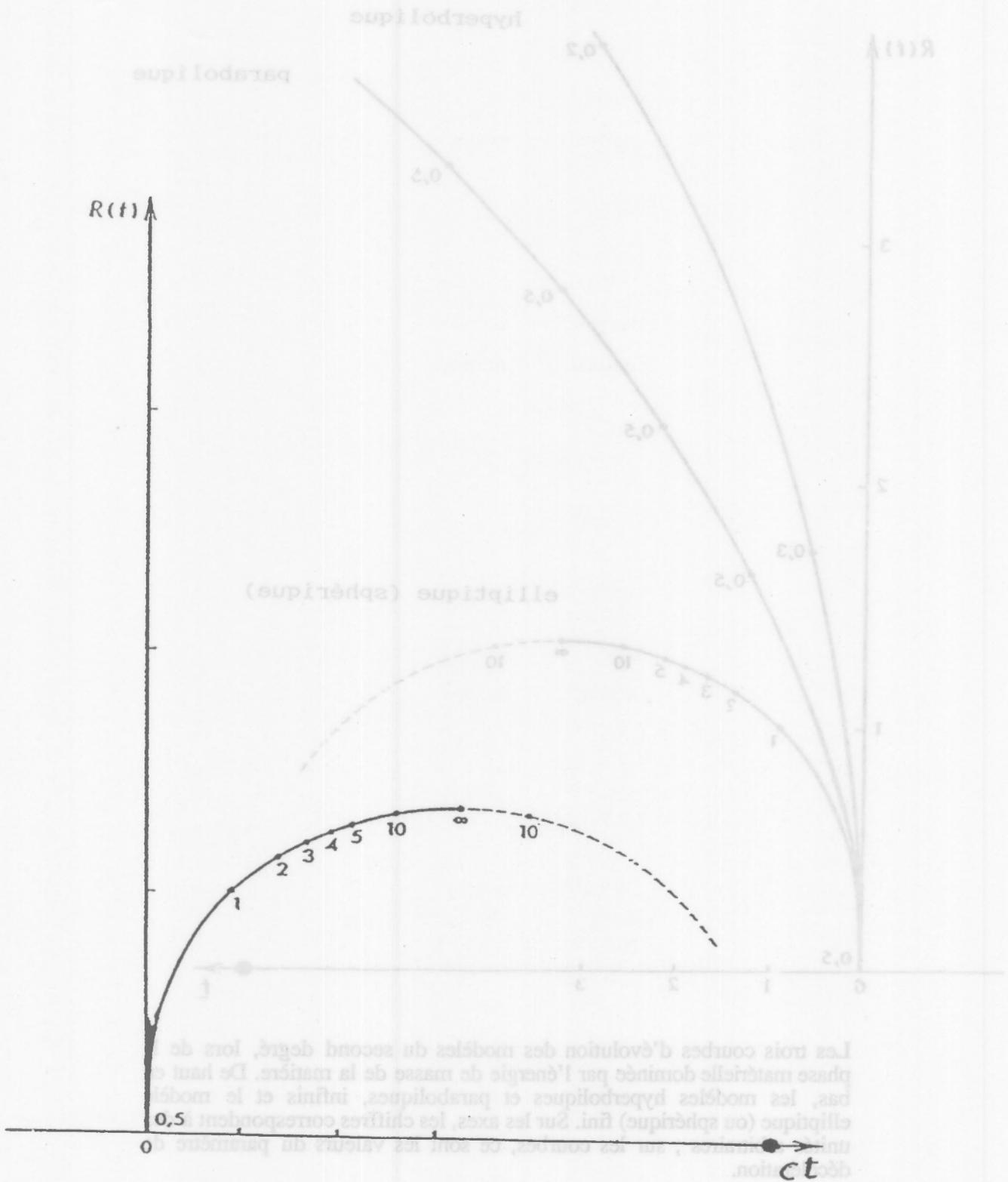
La phase initiale de l'évolution de l'univers est celle qui est dominée par l'énergie du vide. Sa courbe a toute autre allure. Elle est encore fournie par les équations de la relativité générale, quand on y introduit une densité constante, propriété caractéristique de la densité d'énergie du vide. On découvre sur la courbe une expansion fulgurante, dite phase inflationnaire de l'univers et colossale. Elle est, en effet, exponentiellement accélérée et, pour fixer les idées, elle fait croître le rayon de l'univers d'un facteur 10^{30} en 10^{25} sec. Cette phase dominée par l'énergie du vide se raccordera finalement à la phase matérielle, par l'intermédiaire de la phase radiative, dominée par l'énergie du rayonnement.

Ainsi, les trois composantes de l'univers ont successivement leur prédominance et dans l'ordre : le vide, le rayonnement, la matière.



Les trois courbes d'évolution des modèles du second degré, lors de la phase matérielle dominée par l'énergie de masse de la matière. De haut en bas, les modèles hyperboliques et paraboliques, infinis et le modèle elliptique (ou sphérique) fini. Sur les axes, les chiffres correspondent à des unités arbitraires ; sur les courbes, ce sont les valeurs du paramètre de décélération.

Courbe d'évolution de l'univers sphérique, fermé et fini



Courbe d'évolution de l'univers sphérique, fermé et fini

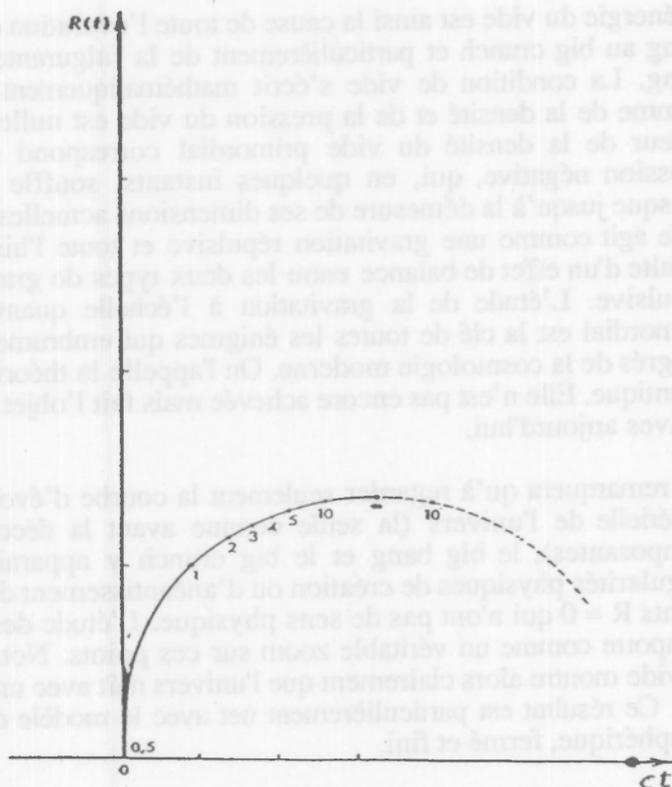
L'énergie du vide est ainsi la cause de toute l'évolution de l'univers, du big bang au big crunch et particulièrement de la fulgurante explosion du big bang. La condition de vide s'écrit mathématiquement en posant que la somme de la densité et de la pression du vide est nulle. A une très haute valeur de la densité du vide primordial correspond alors une énorme pression négative, qui, en quelques instants, souffle l'espace universel presque jusqu'à la démesure de ses dimensions actuelles. Cette pression du vide agit comme une gravitation répulsive et toute l'histoire de l'univers résulte d'un effet de balance entre les deux types de gravitation, attractive, répulsive. L'étude de la gravitation à l'échelle quantique de l'univers primordial est la clé de toutes les énigmes qui embrument encore certains progrès de la cosmologie moderne. On l'appelle la théorie de la gravitation quantique. Elle n'est pas encore achevée mais fait l'objet de recherches très actives aujourd'hui.

On remarquera qu'à regarder seulement la courbe d'évolution de la phase matérielle de l'univers (la seule connue avant la découverte des autres composantes), le big bang et le big crunch y apparaissent comme des singularités physiques de création ou d'anéantissement de l'univers, en des points $R = 0$ qui n'ont pas de sens physique. L'étude des autres phases se comporte comme un véritable zoom sur ces points. Notamment, la phase du vide montre alors clairement que l'univers naît avec un rayon fini et non nul. Ce résultat est particulièrement net avec le modèle d'espace elliptique ou sphérique, fermé et fini.

Tant que l'on croyait l'univers immuable, toujours semblable à son aspect actuel, c'était une entreprise démesurée que de vouloir établir une théorie de la création de l'univers dans son état actuel de gigantisme et de diversité. Mais la découverte de l'expansion de l'espace signifie notamment un univers plus petit dans le passé et même, à en croire les courbes d'évolution fournies par les équations de la relativité générale, un univers ayant à l'origine les dimensions d'une particule élémentaire, voire de la plus petite possible de ces particules. Ce n'est plus alors un exploit que d'édifier une théorie de la création de la particule originelle d'univers.

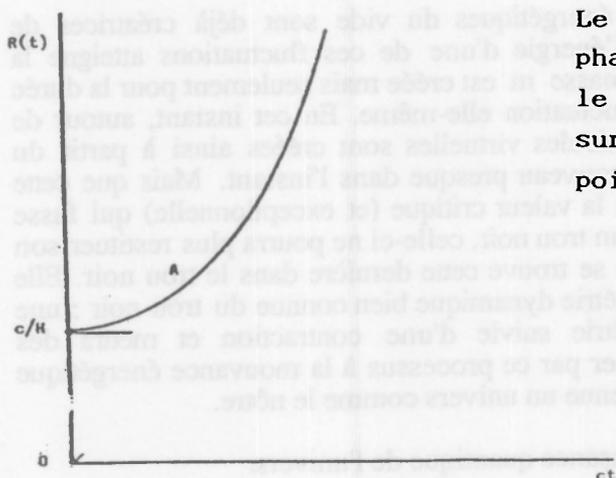
En effet, les fluctuations énergétiques du vide sont déjà créatrices de particules virtuelles. Que l'énergie d'une de ces fluctuations atteigne la valeur mc^2 , la particule de masse m est créée mais seulement pour la durée extrêmement brève de la fluctuation elle-même. En cet instant, autour de nous, des milliards de particules virtuelles sont créées ainsi à partir du vide, pour y disparaître à nouveau presque dans l'instant. Mais que cette énergie de création atteigne la valeur critique (et exceptionnelle) qui fasse de la particule en question un trou noir, celle-ci ne pourra plus restituer son énergie au vide, piégée qu'elle se trouve dans le trou noir. Elle évoluera alors avec la géométrie dynamique bien connue du trou noir : une expansion de cette géométrie suivie d'une contraction et mettra des milliards d'années à retourner par ce processus à la mouvance énergétique du vide. Elle sera alors devenue un univers comme le nôtre.

Tel est le scénario de la naissance quantique de l'univers.



Evolutions des phases initiale (vide) en bas et finale (matière) en haut.

Les échelles sont différentes: le graphe du bas et son raccordement seraient contenus dans le point $R = 0$ de la courbe supérieure, à son échelle.



Le raccordement de ces deux phases par celle dominée par le rayonnement est représenté sur la figure suivante, en pointillé.

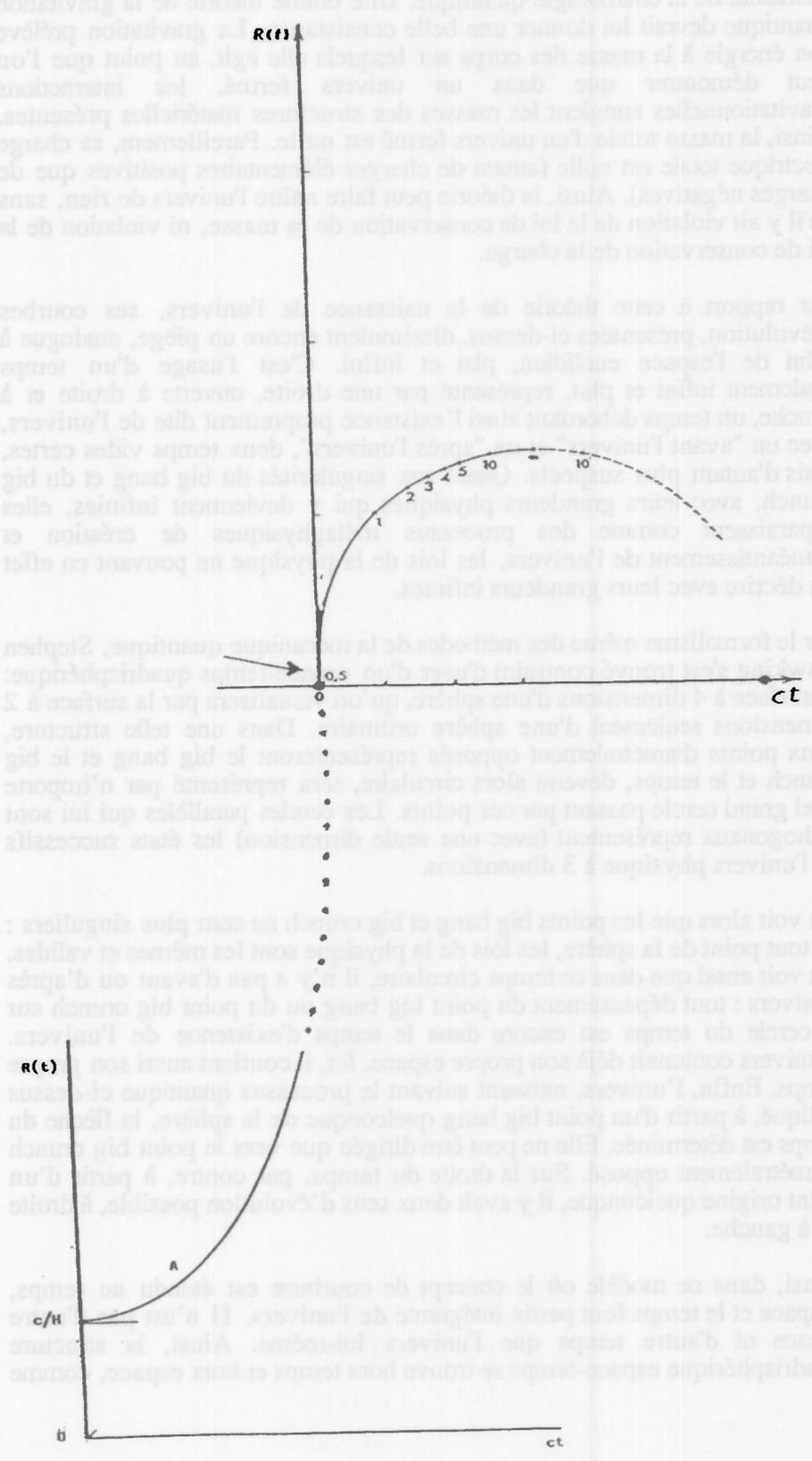
La théorie de la relativité générale de l'univers est déjà développée, au moins dans ses grandes lignes, notamment par Stephen Hawking, le fondateur de la cosmologie quantique. Une bonne théorie de la gravitation quantique devrait lui donner une belle constante de Planck, au point que l'on peut démontrer que dans un univers fermé, les interactions gravitationnelles entraînent les masses des structures matérielles présentes. Ainsi, la masse totale d'un univers fermé est nulle. Facilement, sa charge électrique totale est nulle (sauf de charges de signes opposés que de charges négatives). Ainsi, la théorie peut être l'univers de rien, sans qu'il y ait violation de la loi de conservation de la masse, ni violation de la loi de conservation de la charge.

Par rapport à cette théorie de la relativité de l'univers, ses courbes d'évolution, précédentes et futures, distinguent encore un piège, analogue à celui de l'espace euclidien, qui est infini, est l'espace d'un temps également infini et qui représente par une droite, ouverte à droite et à gauche, un temps dérivant ainsi l'existence proprement dite de l'univers, avec un "avant l'univers" et un "après l'univers", deux temps vides certes, mais d'autant plus singuliers que l'univers, qui devient infini, elles cruchent avec leurs courbes bipolaires, qui deviennent infinies, elles apparaissent comme des processus physiques de création et d'annihilation de l'univers, les lois de la physique ne pouvant en effet les décrire avec leurs grandeurs infinies.

Par le formalisme même des méthodes de la relativité quantique, Stephen Hawking a trouvé comment décrire l'univers dans une quadri-physique : la 4 dimensions d'une sphère, qu'on visualise par la surface à 2 dimensions seulement d'une sphère ordinaire. Dans une telle structure, deux points diamétralement opposés représentent le big bang et le big crunch et le temps, devenu alors circulaire, sera représenté par un rapport quel grand cercle passant par ces points. Les cercles parallèles qui lui sont orthogonaux représentent (avec une seule dimension) les états successifs de l'univers physique à 3 dimensions.

On voit alors que les points big bang et big crunch ne sont plus singuliers : en tout point de la sphère, les lois de la physique sont les mêmes et valides. On voit aussi que dans ce temps circulaire, il n'y a pas d'avant ou d'après l'univers : tout dépendamment du point big bang ou du point big crunch sur le cercle du temps est encore dans le temps d'existence de l'univers. L'univers connaît déjà son propre espace. Ici, il contient aussi son temps. Enfin, l'univers, naissant suivant le processus quantique ci-dessus indiqué, à partir d'un point big bang quelconque de la sphère, le lieu du temps est déterminé. Elle ne peut que diriger que vers le point big crunch diamétralement opposé. Sur la droite du temps, qui conduit à partir d'un point origine quelconque, il y avait deux sens d'évolution possible, à droite ou à gauche.

Ainsi, dans ce modèle où le concept de courbes est déjà un temps, l'espace et le temps sont parties indissociables de l'univers. Il n'y a donc pas d'espace et d'autre temps que l'univers lui-même. Ainsi, la structure quadri-physique espace-temps se trouve hors temps et hors espace, comme



La théorie de la naissance quantique de l'univers est déjà développée, au moins dans ses grandes lignes, notamment par Stephen Hawking, le fondateur de la cosmologie quantique. Une bonne théorie de la gravitation quantique devrait lui donner une belle consistance. La gravitation prélève son énergie à la masse des corps sur lesquels elle agit, au point que l'on peut démontrer que dans un univers fermé, les interactions gravitationnelles annulent les masses des structures matérielles présentes. Ainsi, la masse totale d'un univers fermé est nulle. Pareillement, sa charge électrique totale est nulle (autant de charges élémentaires positives que de charges négatives). Ainsi, la théorie peut faire naître l'univers de rien, sans qu'il y ait violation de la loi de conservation de la masse, ni violation de la loi de conservation de la charge.

Par rapport à cette théorie de la naissance de l'univers, ses courbes d'évolution, présentées ci-dessus, dissimulent encore un piège, analogue à celui de l'espace euclidien, plat et infini. C'est l'usage d'un temps également infini et plat, représenté par une droite, ouverte à droite et à gauche, un temps débordant ainsi l'existence proprement dite de l'univers, avec un "avant l'univers" et un "après l'univers", deux temps vides certes, mais d'autant plus suspects. Quant aux singularités du big bang et du big crunch, avec leurs grandeurs physiques qui y deviennent infinies, elles apparaissent comme des processus métaphysiques de création et d'anéantissement de l'univers, les lois de la physique ne pouvant en effet les décrire avec leurs grandeurs infinies.

Par le formalisme même des méthodes de la mécanique quantique, Stephen Hawking s'est trouvé contraint d'user d'un espace-temps quadrisphérique: la surface à 4 dimensions d'une sphère, qu'on visualisera par la surface à 2 dimensions seulement d'une sphère ordinaire. Dans une telle structure, deux points diamétralement opposés représenteront le big bang et le big crunch et le temps, devenu alors circulaire, sera représenté par n'importe quel grand cercle passant par ces points. Les cercles parallèles qui lui sont orthogonaux représentent (avec une seule dimension) les états successifs de l'univers physique à 3 dimensions.

On voit alors que les points big bang et big crunch ne sont plus singuliers : en tout point de la sphère, les lois de la physique sont les mêmes et valides. On voit aussi que dans ce temps circulaire, il n'y a pas d'avant ou d'après l'univers : tout dépassement du point big bang ou du point big crunch sur le cercle du temps est encore dans le temps d'existence de l'univers. L'univers contenait déjà son propre espace. Ici, il contient aussi son propre temps. Enfin, l'univers, naissant suivant le processus quantique ci-dessus indiqué, à partir d'un point big bang quelconque de la sphère, la flèche du temps est déterminée. Elle ne peut être dirigée que vers le point big crunch diamétralement opposé. Sur la droite du temps, par contre, à partir d'un point origine quelconque, il y avait deux sens d'évolution possible, à droite ou à gauche.

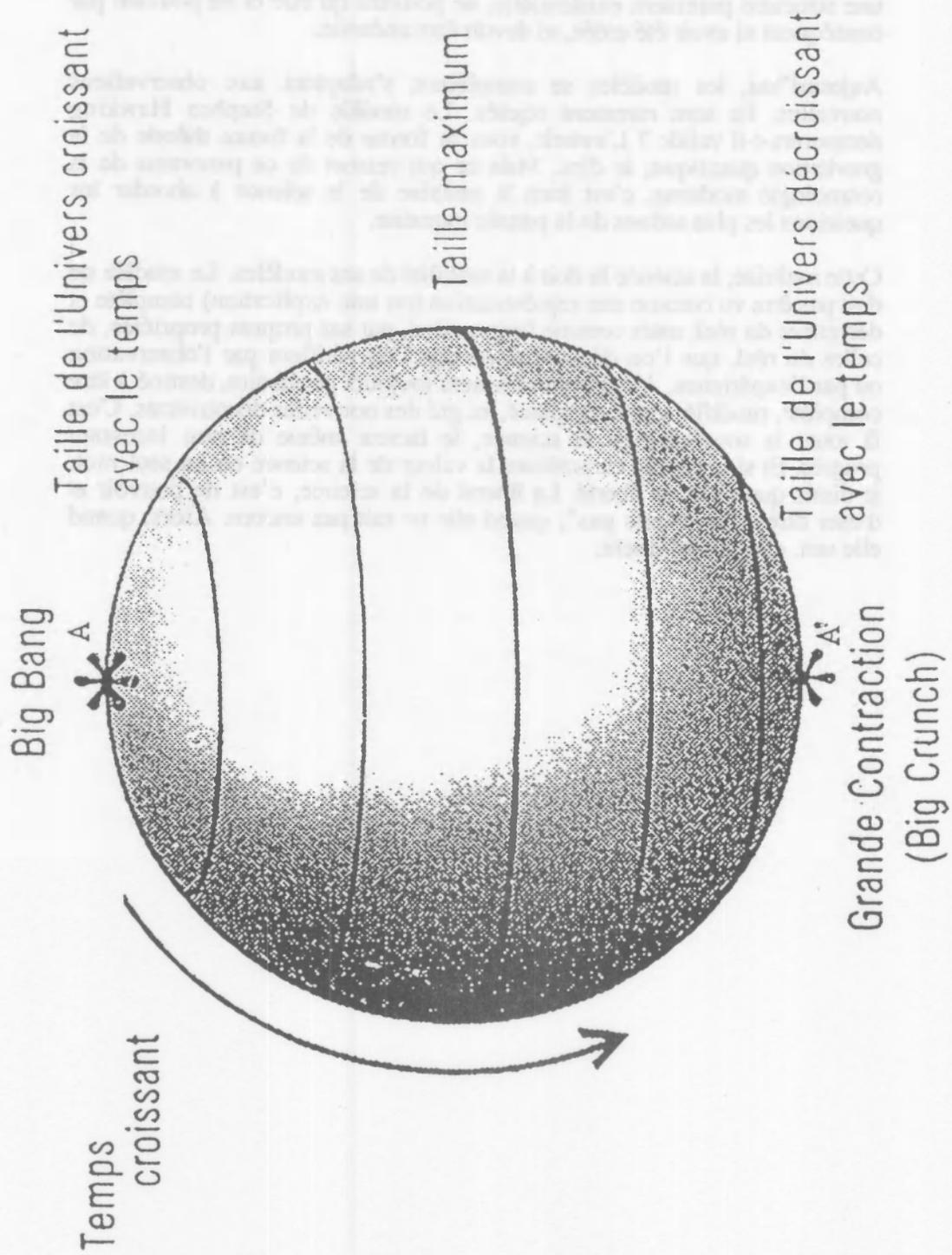
Ainsi, dans ce modèle où le concept de courbure est étendu au temps, l'espace et le temps font partie intégrante de l'univers. Il n'est pas d'autre espace ni d'autre temps que l'univers lui-même. Ainsi, la structure quadrisphérique espace-temps se trouve hors temps et hors espace, comme

une structure purement existentielle, ne pouvant qu'être et ne pouvant par conséquent ni avoir été créée, ni devoir être anéantie.

Aujourd'hui, les modèles se complètent, s'adaptent aux observations nouvelles. Ils sont rarement rejetés. Le modèle de Stephen Hawking demeurera-t-il valide ? L'avenir, sous la forme de la future théorie de la gravitation quantique, le dira. Mais ce qui ressort de ce panorama de la cosmologie moderne, c'est bien la maîtrise de la science à aborder les questions les plus ardues de la pensée humaine.

Cette maîtrise, la science la doit à la mobilité de ses modèles. Le modèle ne doit pas être vu comme une représentation (ou une explication) complète et définitive du réel, mais comme l'expression, par ses propres propriétés, de celles du réel, que l'on découvrira ou que l'on vérifiera par l'observation ou par l'expérience. Ainsi le modèle sera toujours provisoire, destiné à être complété, modifié, voire remplacé, au gré des nouvelles découvertes. C'est là toute la souplesse de la science, le facteur même de son incessant progrès. Et si je devais caractériser la valeur de la science en un seul mot, je dirais que c'est sa liberté. La liberté de la science, c'est de pouvoir et d'oser dire : "je ne sais pas", quand elle ne sait pas encore. Alors, quand elle sait, elle sait vraiment.

*



Les réunions salmantines d'
« Astronomie dans la culture »

JASCHEK Carlos
Salamanca (Espagne)

Les réunions salmantines d' "Astronomie dans la culture"

C. JASCHEK

Abstract

A summary is presented of the content of the conferences given at the Salamanca meetings, from 1994 on. Abstracts of the conferences are published periodically and can be obtained from the author.

Nous avons pris notre retraite en 1993. Nous avons quitté Strasbourg pour nous installer en Espagne, à Salamanca.

Salamanca est une jolie ville située à 200 Km au nord-ouest de Madrid, vers la frontière du Portugal, sur le Tormes, une rivière bien connue dans la littérature classique espagnole.

La ville est très ancienne- un peu plus que Strasbourg- en effet, elle est déjà mentionnée comme ville lors des guerres entre Carthaginois et Romains pour la possession de l'Espagne. Pendant la période romaine, elle est mentionnée sous le nom de *Salmantica*, point important de la "route de l'argent". Cette route parcourait l'Espagne du nord au sud, et servait lors des transports de l'argent extrait des mines exploitées dans le nord. De cette période reste encore le pont sur le Tormes. Après la période romaine, vient la période visigothique (du Vème au VIIème siècles), puis la période arabe (VIIème au XIème siècles). La ville est reconquise et changea encore plusieurs fois de main jusqu'à la repopulation définitive faite par le comte Raymond de Bourgogne. Autour de 1200, sera fondée l'Université de Salamanca qui sera pendant quelques siècles l'Université espagnole par excellence. Sa période de grandeur s'étend entre les XVIème et XVIIème siècles, qui coïncide avec ce qu'on appelle le "siècle d'or" espagnol. Après, elle subira les conséquences de la lente décadence de toute l'Espagne.

Pendant les invasions de Napoléon, Salamanca est soumise aux vicissitudes de diverses occupations, pillages et batailles, par exemple, celle d'Araviles qui compte comme victoire tant espagnole que française. A la fin du XIXème siècle, commencera une lente renaissance de la ville et de l'Université, cette dernière de la main d'UNAMUNO, l'un des grands philosophes espagnols du début du siècle.

L'UNESCO a classé le centre de la ville comme "*patrimoine de l'humanité*", à cause du nombre considérable de bâtiments historiques.

C'est assez logique que dans une telle Université il y a des adeptes de l'astronomie, même s'il n'existe aucun département d'astronomie. J'ai donc commencé à chercher si les circonstances étaient favorables à la création d'une série de conférences identiques à celles de Strasbourg. Le résultat a été très concluant, car en Espagne comme en France (en 1988) un forum de ce type n'existait pas. L'organisation des journées est la même qu'à Strasbourg, seul le titre a changé, en Espagne elles s'appellent "**L'astronomie dans la culture**". Jusqu'ici cinq réunions ont eu lieu, deux en 1994, deux en 1995 et une en avril de cette année.

Les conférences poursuivent le même but qu'à Strasbourg : réunir les collègues travaillant sur le même sujet et commencer le dialogue interdisciplinaire. Apparemment les participants apprécient ces réunions, car les objectifs fixés ont pu être accomplis au moins partiellement.

J'essaierai de vous donner ci-dessous un bref résumé des exposés faits lors de nos réunions. Je prie les conférenciers de m'excuser car ces quelques lignes ne peuvent remplacer leurs exposés.

Commençons d'abord avec l'ethnoastronomie. Sur ce sujet quatre conférences ont eu lieu, à commencer par celle d'**Espina Barrios** sur les

mythes améroindiens sur l'origine et la fin du monde. Ces mythes ont la particularité d'avoir des créations successives, par exemple la première création des hommes fût celle des hommes d'argile qui ne pouvaient pas se déplacer et furent détruits et remplacés par d'autres, jusqu'à ce que l'on arriva aux hommes actuels. Le monde est également composé de multiples structures, tant le ciel que le sous monde ont une structure en couches. Et la fin du monde est périodique, mais à chaque destruction il y a des hommes qui survivent.

Perez Fernández nous a parlé de l'astronomie d'une population semi-nomade d'Afrique du Sud, les *Himba* qui habitent en Namibie. Leur étude est extrêmement intéressante parce que de ce type de cultures presque aucune n'a survécu. De plus, comme dans ces cultures l'écriture est inexistante, la documentation concernant l'astronomie n'est guère abondante. La conclusion générale est qu'ils n'ont pas d'astronomie en dehors de la connaissance de quelques constellations. La seule croyance astronomique est la peur des éclipses et que le ciel puisse un jour leur tomber sur la tête, comme chez Astérix. **M. Giner Abati** est en train d'approfondir un peu plus cette recherche, car il est difficile de croire qu'ils ne possédaient aucune astronomie.

M. Rodriguz Pascual nous a parlé des calendriers à caractère ethnologique en Espagne, surtout au XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles.

M. Alonso Romero nous a présenté les cultes astrales en Galice. La Galice étant jusqu'à une époque récente essentiellement un milieu rural, la pénétration du christianisme a été plus lente qu'ailleurs. On trouve des condamnations ecclésiastiques entre les VII^{ème} et XIII^{ème} siècles de ce type de culte astral, mais on découvre encore des traces actuellement. Il s'agit surtout de cultes au soleil et à la lune auxquels sont dédiés les récoltes. Par exemple à Lugo, on mettait une tasse du premier lait d'une vache sur une fenêtre orientée vers l'est et les femmes stériles s'exposaient nues à la lumière de la lune. Apparemment on trouve encore des traces des cultes pré-céltiques.

M. Endrique Knoerr nous a parlé de la mythologie astronomique et de la langue basque. Comme la langue basque est une langue isolée (dans le sens qu'il n'y a pas dans le voisinage géographique des langues semblables), il est difficile d'établir des comparaisons. Les noms basques des jours de la semaine, les noms des mois et des saisons sont difficiles à expliquer. Malgré le long contact avec les Romains et les Espagnols, il y a peu de traces directes dans leur mots, sauf pour le mois de septembre *buruil* = *mois de la tête*, qui vient probablement de la « *capitatio* » romaine, mois du paiement des impôts. **M. Knoerr** a également cité les noms basques de plusieurs mots à signification astronomique et l'on trouve de nouveau peu de traces de latinisation, même dans la désignation des constellations et des étoiles : Sirius est « l'oeil brillant », Vega, « l'étendard » et « Regulus, « le pied du cheval ».

Dans le chapitre archéoastronomie, **M. Hoskin** nous a exposé ses recherches concernant l'orientation des monuments mégalithiques dans les terres de la Méditerranée. Il a remarqué qu'aux Baléares, la direction privilégiée est le sud-est et en Sardaigne, l'est. En Andalousie, c'est également le sud-est, soit une orientation approximativement vers le solstice d'été ; ceci après une étude de 600 tombeaux. En Crète, les directions sont clairement lunaires et on a aussi découvert des temples lunaires.

M. Belmonte nous a présenté l'archéoastronomie aux Canaries, où l'on trouve une richesse exceptionnelle de monuments mégalithiques avec des inscriptions dans une écriture non encore déchiffrée. Les monuments sont orientés habituellement vers le Teide, qui était un volcan actif à cette époque. **M. Belmonte** est d'ailleurs l'auteur d'un livre d'ensemble sur l'archéoastronomie des îles Canaries, qui est certainement la partie la mieux explorée de l'Espagne quant aux monuments mégalithiques. **M. Hoskin**, en collaboration avec des groupes espagnols, a commencé une étude systématique des monuments dans le sud, l'ouest et le nord-ouest, et c'est justement à Salamanca à l'occasion de l'une de nos réunions, que tous les spécialistes se sont rencontrés.

Quant à l'archéoastronomie non-européenne, si bien représentée dans les Journées strasbourgeoises, seul **M. Alcina Franch** nous a parlé de l'interprétation des diagrammes des quatre directions des mésoaméricains. Ces directions sont l'est et l'ouest et le haut et bas, et non pas, comme on l'avait cru auparavant, les quatre directions cardinales. Pour eux, la direction verticale était de la plus grande importance dans la construction des bâtiments, puisque elle signalait les deux mondes antagonistes communiqués à travers les bâtiments sacrés.

Concernant le chapitre historique, une demi-douzaine de conférences ont été faites. L'astronomie de *Isidore de Seville*, le dernier docteur de l'église, qui vécut au VIème siècle, sous le règne visigoth, a été présentée par **M. Salvador**. L'astronomie, écrite pour instruire un peuple barbare, occupe une grande partie dans l'un des livres de l'Etymologie, encyclopédie bien utilisée entre le VIème et le XVIème siècles. Il faut donc considérer ces livres comme écrits pour les profanes, et non pour les spécialistes inconnus d'ailleurs à cette époque.

Mme Dominguez nous a parlé d'un des livres d'*Alphonse X, le Sage*, grand patron de l'astronomie espagnole au XIIIème siècle. Le livre intitulé *le Lapidarium* contient la première représentation des (48) constellations anciennes, transmis à travers les manuscrits arabes, mais déjà illustrés avec des habits occidentaux.

L'exposé de **M. Castiñeiras Gonzalez** concernait les représentations calendaires dans les monastères de Ripoll et Saint Isidre à Léon où l'on

reprend la tradition astronomique de Bède et l'on illustre divers phénomènes astronomiques dans les manuscrits. Tout ceci date du XIème siècle, date à laquelle la culture commence à se rétablir dans les royaumes chrétiens de la reconquête.

La représentation du ciel sur le plafond de la bibliothèque salmantine, exécuté à la fin du XVème a fait l'objet de la conférence de M. **Florez**. Une partie des peintures subsistent encore. Un essai de datation a été faite, mais sans trop de succès, à mon avis. Le conférencier la considère plutôt comme faisant partie d'un bâtiment symbolique.

M. **Garcia Castillos** nous a présenté l'un des personnages de l'Université de Salamanca, *Pedro Ciruelo*, du XVIème siècle. Il a écrit un commentaire sur la Sphère de Sacrobosco, avec un nombre important de remarques. De plus, il fournit des raisons pour étudier l'astronomie. Comme anecdote sur le personnage, on peut rappeler qu'il a étudié à Paris la théologie et gagné son pain en enseignant les mathématiques, car à l'époque la chair de Mathématiques à Paris était vacante et l'enseignement, selon lui, très pauvre.

M. **Broncano Rodriguez** nous a parlé du conflit au Moyen Age entre l'astronomie de Ptolémée et la cosmologie d'Aristote. A nos yeux il y a une exclusion mutuelle entre les deux. Les premiers qui se sont aperçus du conflit étaient les Arabes, qui ont longuement écrit sur les contradictions trouvées. Le conflit est dû en grande partie au fait que les astronomes ne devaient pas parler de cosmologie, réservée aux philosophes, mais s'occuper de prédire la marche des astres.

Finalement dans le chapitre astronomique, M. **Cornide** nous a décrit l'astronomie près de l'horizon et M. **Martin** du principe anthropique, deux sujets, me semble-t-il, traités également à Strasbourg.

La nouveauté a été l'exposé d'un astronome, M. **Cornide**, sur la possibilité de collisions entre astéroïdes et/ou comètes avec la terre. Cette possibilité existe et de plus n'est pas négligeable. M. **Blanco**, géologue, a présenté un travail sur les effets catastrophiques d'une telle collision. Ces deux conférences ont une relation avec les travaux des époux **A.** et **E. Tollmann** qui soutiennent qu'une telle collision a eu lieu récemment (il y a dix mille années). Ils pensent qu'une collision semblable permet, entre autre, d'expliquer la croyance très répandue d'un déluge qui aurait presque détruit l'humanité.

J'espère ne pas vous avoir trop fatigué avec l'énumération des différents sujets présentés lors de nos *Journées salmantines*, mais je voulais vous faire connaître une partie de la multitude de sujets passionnants qui existent.

Le seul point noir de ces réunions salmantines est le financement de la publication des comptes rendus. En effet, aucune solution n'a encore été trouvée. Seuls sont publiés les résumés des conférences, qui peuvent être obtenus auprès du soussigné.

Pour finir je vous parlerai un peu de notre proche avenir : la conférence annuelle de la société « **SEAC** » (Société européenne pour l'Astronomie dans la Culture), fondée à Strasbourg en 1991, et qui se réunit cette année au mois de septembre à Salamanca.. On espère une cinquantaine d'intervenants venant de toute l'Europe, pour le moment la France est peu représentée, ce que je trouve un peu décevant. Je vous attends tous à Salamanca !

*

**Réflexions épistémologiques sur
le temps ou les temps**

BECKER Charles
Besançon

Réflexions épistémologiques sur le temps ou les temps

BECKER Ch.

--

C'est à partir des sciences humaines et plus précisément de la linguistique, de la musique et de la poésie que nous poserons la problématique du temps ou des temps, singulier ou pluriel ?

1. - Le rhuthmos ou temps-espace irréversible le Skhêma ou espace-temps réversible.

Et pour cela, il est nécessaire d'interroger les mots grecs : rhuthmos = rythme et skhêma, à la suite d'Emile Benveniste¹ qui montre que le mot rythme signifie un courant d'eau ou un fleuve et non pas, comme on l'a dit trop longtemps, le flux et le reflux de la mer ; mais de façon paradoxale, Benveniste affirme : "or un courant d'eau n'a pas de rythme". C'est qu'en bon Occidental, il assimile le rhuthmos, à la suite de Démocrite, au Skhêma, Démocrite que les physiciens considèrent comme le père de l'atomisme et du multitudinisme, à juste titre. L'Occident n'a eu de cesse d'assimiler le rythme des saisons au cycle des saisons, le rythme musical et poétique à la métrique musicale et poétique².

Si le mot rythme signifie bien courant d'eau ou fleuve, il signifie aussi que ce fleuve coule de l'amont vers l'aval **irréversiblement** et non continûment. Les grecs le savaient si bien que le verbe : remonter le courant, signifiait aussi dans la langue courante : faire des choses impossibles ; impossible de remonter le courant d'un torrent Méditerranéen, c'est-à-dire, d'un rhuthmos, surtout si l'on est plongé **dedans** ! Mais si l'on en est **hors** ou qu'on le survole, il est facile d'affirmer que le Rhuthmos est un Skhêma, comme l'affirme Démocrite. Car le Skhêma est : "une forme fixe (ou mobile) qui est réalisée, posée en quelque sorte comme un objet" ou un ensemble d'objets. Telle est la définition qu'en donne Emile Benveniste, avec une différence de taille, puisque j'ai ajouté la parenthèse : **ou mobile**. L'astronomie est un bel exemple de Skhêma, ou de Skhêmata, d'objets à la fois fixes *et/ou* mobiles, et le temps y est un temps réversible de cycles : c'est sur ce temps des objets célestes qu'on établit des calendriers et des chronologies. Le skhêma Grec est donc tout à fait compatible avec le mouvement. Or beaucoup de philosophes Occidentaux ont opposé le Rhuthmos comme forme mouvante au Skhêma comme forme fixe, ce que Benveniste continue à affirmer : "au contraire (du Skhêma) le Rhuthmos... désigne la forme dans l'instant qu'elle est assumée par ce qui est mouvant, mobile, fluide, la forme qui n'a consistance organique : il convient au pattern d'un élément fluide... c'est la forme improvisée, momentanée, modifiable". On a insensiblement glissé du "**tout coule**" d'Héraclite au "**tout bouge**" ou "tout est en mouvement" que Démocrite ne démentirait pas, en somme l'holomouvement de D. Bohm³.

Or, selon moi, la différence et la complémentarité entre le Rhuthmos et le Skhêma disent, pour le premier, l'irréversibilité du temps, et pour le second, la réversibilité du temps ; plus que l'opposition entre mouvement et fixité ou temps et éternité, comme le titre I. Prigogine⁴.

Il reste à établir un trait d'union entre ces deux temps, irréversible et réversible et l'espace. Car depuis Minkowsky et Einstein, on ne devrait jamais concevoir le temps sans l'espace et vice-versa. L'espace-temps relativiste est, selon moi, skhématique, donc réversible : on pourrait parler d'holomouvement ; tandis que le rhuthmos manifeste le temps-espace irréversible, à la manière d'un fleuve qui commence à l'amont par une sorte de singularité : sa source, pour s'expanser ensuite vers l'aval, en fonction d'un temps irréversible, à l'image de l'expansion de l'univers⁵ : on pourrait alors parler d'holorythme.

Dans un article intitulé : "Dans l'abîme du temps" paru dans Ciel et Espace, Alain Bouquet écrit : "*La notion de temps comporte deux aspects qu'il est difficile de concilier. Il y a d'une part une notion intuitive de temps, liée au changement du monde autour de nous. Nous disons que le temps passe, parce que nous voyons se déplacer le soleil dans la ciel, brûler une bûche, grandir un enfant... le temps est dynamique, il mesure le changement, c'est un flot qui coule continuellement (l'image du fleuve revient souvent). Le temps est une*

perpétuelle fuite en avant, irréversible... c'est aussi la notion intérieure du temps qui passe, le temps de la pensée, des sentiments et les philosophes ont souvent privilégié cet aspect. Le second aspect du temps est, au contraire, celui d'un cadre de référence, statique, dans lequel les événements sont repérés les uns par rapport aux autres : le temps est le milieu immobile où ont lieu les changements... c'est aussi le temps de la cinématique, simple paramètre qui repère la position d'un mobile sur une trajectoire, un temps pour lequel les notions de passé et de futur sont identiques, un temps réversible. C'est cet aspect qui est privilégié dans la démarche scientifique."

Cette citation d'un physicien chargé de recherche au CNRS nous permet de conclure notre première partie et d'introduire une deuxième partie par le moyen d'un commentaire.

2. - Les deux temps du langage.

L'exemple du soleil qui se déplace me semble plus relever du deuxième aspect du temps, à savoir le temps réversible qui a l'apparence de Skhéma fixe, donc statique, mais qui en réalité est mobile : le temps est plutôt le milieu mobile qu'immobile, mais il peut être réversible ou irréversible, il peut être cyclique ou rythmique. Je rappelle que le mot **révolution** comporte ces deux aspects du temps, d'abord cyclique : on revient au même point ou à peu près, et on recommence ; n'est-ce pas le sens astronomique du mot ? C'est bien le temps réversible, plus exactement l'espace-temps réversible, cyclique, qui donne l'illusion de l'immobilisme, mais qui est mobile. Le deuxième aspect du mot révolution, c'est quelque chose de nouveau : *Novas res*, qui est le changement irréversible que les pouvoirs publics ont tendance à célébrer, comme ce fut le cas au Bicentenaire de la Révolution Française en 1989, en occultant le premier aspect. L'histoire, à ce propos, joue toujours sur une dialectique de ces deux temps et nous verrons que dans le langage il en est également ainsi.

Pour revenir aux exemples proposés par Alain Bouquet, si la course du soleil relève plutôt du temps réversible, voir brûler une bûche et grandir un enfant ressortit au temps irréversible, ces deux temps étant par nature mobile, le premier étant cyclique et Skhématique, le deuxième ayant une flèche irréversible, est donc rythmique. Le premier donne l'illusion d'être statique : rien de nouveau sous le soleil, mais c'est parce que nous en faisons "un paramètre extérieur à nous, qui repère la position d'un mobile sur une trajectoire, un temps pour lequel la notion de passé et de futur sont identiques, un temps réversible". Le deuxième est également mobile, mais voir brûler une bûche ou voir grandir un enfant, c'est nous voir vieillir. Comme la bûche, comme l'enfant, nous sommes plongés **dans le fleuve du temps irréversible**. Ce n'est plus un paramètre extérieur à nous et la notion de passé et de futur ne sont plus identiques⁶.

Dans le langage, les linguistes distinguent deux temps, l'un qui obéit au temps réversible et chronologique : c'est un temps où seules les notions de simultanéité, d'antériorité-postériorité ont droit de cité, indépendamment de la référence au passé et au futur : c'est le temps de l'infinitif où le terme **infinitif présent** ne pointe nullement le maintenant, mais la simultanéité de deux événements :

Exemple :

vidéo pueros currere	je vois les enfants courir
vidi pueros currere	j'ai vu les enfants courir
videbo pueros currere	je verrai les enfants courir

C'est le premier verbe qui désigne le présent, le passé, le futur ; mais le deuxième, l'infinitif, désigne la simultanéité des deux événements dans le présent, le passé, le futur.

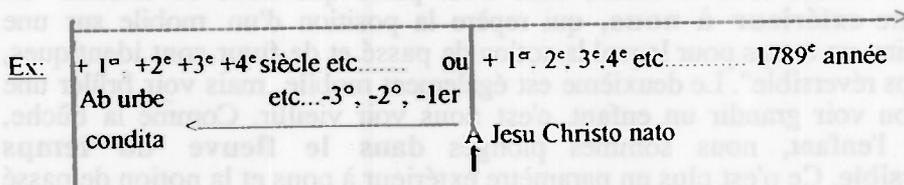
Si j'écris :

dico pueros cucurrisse	je dis que les enfants ont couru
dixi pueros cucurrisse	j'ai dit que les enfants avaient couru
dicam pueros cucurrisse	je dirai que les enfants auront couru

Dans ce cas, l'infinitif parfait désigne l'antériorité dans le présent, le passé ou le futur⁷. J'ai placé entre le terme antériorité et postériorité un trait d'union pour bien insister sur le fait que, si un événement A est antérieur à un événement B, cela signifie aussi que B est postérieur à A. Les termes **Simul-** dans simultanéité, **puis-** dans antériorité-postériorité impliquent nécessairement deux événements qu'on chronologise ou met en relation temporelle sur un axe.

Une chronologie, c'est aussi établir à partir d'un point de départ socio-culturel : la fondation d'une ville, la naissance d'un héros ou d'un dieu une relation temporelle de simultanéité, antériorité-postériorité entre deux ou plusieurs événements :

Exemple :



On ordonne sur une ligne les années et les siècles et l'on applique alors les notions de simultanéité, antériorité-postériorité :

Exemple :

d'abord avec le signe + ou si l'on change de point de départ avec le signe moins⁸.

La Bastille a été prise le 14 juillet (+) 1789 signifie qu'on établit une simultanéité d'un jour : le 14 juillet, d'une année 1789 de la grille chronologique avec un événement : la prise de la Bastille. Si je désire, à partir de cet événement dater un autre événement antérieur ou postérieur, je peux dire, par exemple, le 13 juillet ou le 15 juillet 1789, mais je peux dire aussi, la veille ou le lendemain du 14 juillet. Mais je ne dirai jamais **hier** et **demain**, car ces termes ne désignent pas le même temps que les premiers ou les dates : c'est le temps irréversible de l'acte de communication-énonciation qui, en tant qu'acte, se situe **hic et nunc**, c'est-à-dire, **ici, maintenant**.

Ces termes : maintenant, ici, hier, demain, sont ce qu'on appelle des embrayeurs ou schifters : ce sont des autoréférents à l'acte d'énonciation et comme le souligne avec insistance et justement Jean Schneider⁹ : "le maintenant ne désigne aucun point immobile particulier de l'axe des temps. Il renvoie à la situation temporelle de sa propre production". Benveniste, non seulement affirmait cela, mais il allait jusqu'à dire : "Est ego qui dit ego". Et Jean Schneider d'ajouter : "il faut même considérer comme valable l'équation - maintenant = production de maintenant-". Et il conclut : " ce qui importe ici, c'est qu'il est impossible de la décrire (cette situation autoréférentielle) dans le cadre traditionnel de la physique". Cette affirmation l'amènera à considérer la réduction du paquet d'ondes, c'est-à-dire, la mesure en physique quantique, comme "un acte purement sémantique" : c'est un acte d'attribution, de prédication, de jugement : "Un jugement ne constate pas une réalité préexistante, il la crée par son prononcé". On peut parler aussi d'actualisation, mais selon lui, purement sémantique, donc langagière.

A mon sens, c'est cantonner le temps irréversible à l'acte de communication-énonciation du langage et considérer que le temps irréversible est en physique une illusion : d'où, le rejet de l'effort d'I. Prigogine pour montrer que ce temps est bien réel en physique, et de l'effort de B. d'Espagnat pour montrer qu'il y a deux types d'objectivité, celle forte de la physique dite classique et relativiste, et celle faible de la physique quantique. Or lorsque nous avons défini, au début, le rhuthmos et le skhêma, nous avons dit que lorsqu'on est plongé **dans** le fleuve, le rhuthmos reste un rhuthmos : impossible de **remonter** le courant ; tandis que si l'on en est **hors** ou qu'on le survole, on peut assimiler le rhuthmos au Skhêma. Le temps espace irréversible du Rhuthmos implique l'objectivité faible : c'est au fond ce qu'affirmait N. Bohr en face de l'espace-

temps réversible du Skhéma, fût-il relativiste (ce sont les notions de simultanéité, d'antériorité-postériorité qui sont relatives au système de référence¹⁰) d'Einstein qui est partisan de l'objectivité forte. Personnellement, à la lumière de la psychologie et de l'épistémologie génétiques de Jean Piaget et de l'ontogénèse du langage¹¹, je suis tenté de ne donner raison ni à l'un ni à l'autre et de refuser le dialogue de sourds qui s'en est suivi en 1922 entre H. Bergson et A. Einstein, parce que l'homme, en tant qu'être vivant, connaissant, est à la fois **dans** l'univers et **hors** de l'univers. Cela implique qu'il est lui même une dialectique des deux temps irréversible et réversible. Enfin la non-séparabilité quantique mise en lumière par les expériences d'Alain Aspect semble militer en faveur de l'objectivité, certes faible, mais objectivité réelle et non l'illusion du temps-espace irréversible en physique.

3. - Les deux temps de l'univers

Muni de cette distinction entre les deux temps dans le langage, nous pouvons lire ce que dit H. Reeves dans "Patience dans l'azur"¹² : ... "Nul signal ne peut atteindre l'étoile la plus proche en moins de quatre ans, et la galaxie d'Andromède en moins de deux millions d'années. Il nous est physiquement impossible de communiquer aujourd'hui avec les habitants d'Andromède... Nous ne sommes pas causalement reliés à Andromède aujourd'hui... mais nous sommes reliés à Andromède dans deux millions d'années, etc...". Il est bien évident que pour un linguiste, cela est ambigu : le temps auquel se réfère H. Reeves est le temps réversible et plutôt qu'aujourd'hui on doit comprendre simultanément : on n'est pas relié causalement, autrement dit, l'émission du signal et sa réception ne sont pas simultanées, les habitants d'Andromède recevront le signal émis en 1996, non pas dans deux millions d'années qui est un embrayeur, mais deux millions d'années après l'émission. Nous ne sommes plus dans le temps irréversible de l'acte de communication-énonciation hic et nunc, mais dans le temps réversible du langage, en tant qu'instrument de communication avec un émetteur et un récepteur d'un signal qui met (c'est un présent de loi général) deux millions d'années pour être transmis à la vitesse limite de la lumière.

Ceci n'est pas une mauvaise querelle de mots, (j'ai trop d'admiration pour l'effort de vulgarisation d'H. Reeves et de plaisir à lire ses ouvrages, sans lesquels bien des informations me seraient restées obscures. C'est une difficulté presque insurmontable de transcrire en langage courant des problèmes épistémologiques complexes¹³ : est-ce que le temps de la lumière fossile, qui est à peu de chose près homogène, est celui dont nous venons de parler ? "Comment des régions du ciel qui, depuis le début de l'univers, n'avaient jamais été causalement reliées, ont-elles exactement la même température ? Comment le mot d'ordre a-t-il été transmis ?"

Le temps irréversible pourrait donner une réponse : aucun mot d'ordre n'a été transmis, car ce temps est aussi celui qui permet de comprendre la non-séparabilité de deux atomes qui forment un système global. H. Reeves, à ce sujet, dit très justement : "la solution de beaucoup de paradoxes de la physique (ou de la science en général) a nécessité le rejet de préjugés unanimement partagés et considérés comme évidents par tous les chercheurs. La situation paradoxale (voir le paradoxe EPR) vient du fait que l'on a supposé l'information localisée sur les particules. En conséquence, elle doit se propager pour aller de l'une à l'autre particule. La mécanique quantique implique au contraire que les deux particules restent en contact permanent quelque soit leur distance, même si elles ne sont plus reliées causalement".

La conclusion d'H. Reeves me semble fondamentale. En un sens, l'univers resterait toujours et partout présent à lui-même, puis "il y aurait en quelque sorte deux niveaux de contact entre les choses. D'abord celui de la causalité traditionnelle. Et puis un niveau qui n'implique pas de force d'un corps sur un autre, pas d'échange d'énergie. Il s'agirait plutôt d'une influence immanente et omniprésente qu'il est difficile de caractériser avec précision. J'aimerais bien savoir quelles sont les relations entre cette influence et l'évolution cosmique". Nous avons, en première page, dit que Démocrite était le père de l'atomisme et du multitudinisme impliquant un temps skhématique réversible et l'assimilation du rhuthmos au skhéma. Mais si le Rhuthmos reste un rhuthmos, alors il est fractal, comme nous le verrons plus loin, et ceci a pour conséquence que le local et le global ne présentent qu'une relativité d'échelles et que le multitudinisme a ses limites et qu'il doit être remplacé ou mieux complété par une vision holiste de l'Univers, ce que, tout compte fait, signifie le mot Univers.

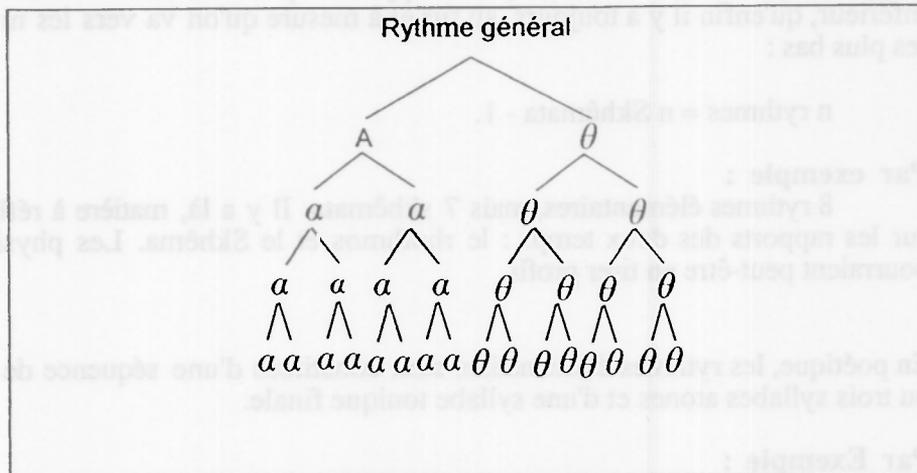
4. - Pratiques rythmiques en musique et en poétique

Il nous reste à nous demander quel rapport il y a entre ce que nous venons de dire et notre pratique poétique et musicale du rhuthmos et du skhéma, pratique qui est le point d'origine de notre réflexion épistémologique sur le temps ou les temps, tant dans les sciences de l'homme que dans celles de la nature.

Pour ce faire, il est nécessaire de se référer aux deux planches que nous avons placées en appendice, d'abord le rythme-rythmisation du thème de la Passacaille en Do mineur de J.S. Bach, et ensuite du poème de Paul Eluard : le jeu de Construction.

Si partant de l'étymologie du mot rhuthmos qui signifie courant d'eau ou fleuve coulant de l'amont vers l'aval irréversiblement, nous définissons le rythme comme l'union intime d'une arsis et d'une thésis, i.e, d'un levé de pied

Il est possible aussi de rester au 4ème niveau et de l'analyser ou de le décomposer, nous obtenons alors un schéma en algèbre combinatoire, bien connu des linguistes et informaticiens¹⁵. Soit :



Pour aboutir à : 8 arsis et 8 thésis.

Si l'on compare les deux schémas, on voit que le local et le global se rejoignent

$$\left[\begin{array}{cccccccc} a\theta + a\theta & \text{1er niveau} \\ aa \quad aa \quad aa \quad aa \text{---} \theta\theta \quad \theta\theta \quad \theta\theta \quad \theta\theta & \text{4e niveau décomposé} \end{array} \right]$$

Le signe + est celui de la concaténation ; le signe ---- celui de la rythmisation, puisqu'un rythme, quelque soit son niveau et son échelle, est constitué d'une arsis et d'une thésis indissociables ; ce que l'on pourrait aussi écrire aussi : $a \iff \theta$, tandis que $\theta + a$ qui est un skhéma (entre deux barres de mesure) pourrait s'écrire : $\theta 1 \iff a 2$.

Cette rythmisation peut se réaliser à n niveaux ou échelles ; en l'occurrence les 20 variations de la Passacaille peuvent constituer une Holoarsis et la fugue qui suit l'Holothésis d'un Holorythme, ainsi :

Passacaille--- Fugue
 Arsis --- Thésis

Ce qui est remarquable dans le schéma fractal de la rythmisation, c'est qu'on voit bien que le rhuthmos est antérieur au Skhêma, c'est-à-dire, que la rythmique est antérieure à la métrique, puisqu'au niveau le plus global, n'apparaît pas de Skhêma, et qu'il n'apparaît qu'au niveau immédiatement inférieur, qu'enfin il y a toujours, au fur et à mesure qu'on va vers les niveaux les plus bas :

$$n \text{ rythmes} = n \text{ Skhêmata} - 1.$$

Par exemple :

8 rythmes élémentaires, mais 7 skhêmata. Il y a là, matière à réflexion sur les rapports des deux temps : le rhuthmos et le Skhêma. Les physiciens pourraient peut-être en tirer profit.

En poésie, les rythmes élémentaires sont constitués d'une séquence de deux ou trois syllabes atones et d'une syllabe tonique finale.

Par Exemple :

L'oiseau, car la rythmique, contrairement à la métrique qui implique que la syllabe est l'unité de mesure et qu'une syllabe vaut une syllabe, se construit elle sur l'inégalité temporelle des syllabes¹⁶.

Au plan métrique, tous les vers du poème d'Eluard sont des octosyllabes sauf le dernier, le plus souvent divisés en deux hémistiches, en ce qui concerne les deux quatrains : 4/4.

1 2 3 4 1 2 3 4

Exemple :

L'homme s'enfuit, le cheval tombe, parfois deux membres métriques inégaux : attend patiemment l'hiver : 2+6 ou 6+2, enfin dans les tercets 8 syllabes sans pause :

"Et pourquoi pleurer les lilas ?"
ou "Si l'on n'a pas de récompense ?"

Du point de vue rythmique, c'est infiniment plus complexe ; il apparaît des degrés de liberté, selon qu'on actualise tel niveau ou échelle rythmique, on peut respirer le premier vers : "l'homme s'enfuit" en 1 rythme élémentaire, puis "le cheval tombe" de la même façon : ce qui donne deux rythmes élémentaires concaténés. Mais on peut rythmer au niveau supérieur, ce qui donne :

rythmique et personnellement, je pense que l'un et l'autre sont nécessaires, et que tour à tour, ils sont actualisés et potentialisés, plus exactement quand le rhythmos est actualisé, le skhêma est potentialisé et vice-versa¹⁷.

Puis l'on peut actualiser le rythme successivement, le premier d'abord en vers, le deuxième en tétra, à une échelle rythmique plus élevée. Puis le rythme général ou l'airis comprend les deux premiers et le tétra les deux derniers, le dernier vers étant rythmé à une autre échelle, plus élevée.

Mais c'est l'holorythme qui donne vraiment sens au poème et je propose de le rythmer à une échelle encore plus élevée :



La pause ou l'apnée est avant tout holorythmique, du holorythme dans l'holorythme. Ce qui a pour effet de prolonger les interrogations et de faire attendre la réponse : - mais pour ça et ça

Remarque que ce vers est plus court que les 14 autres : c'est un hexasyllabe. Et paradoxalement si je le rythme au niveau le plus élevé, il apparaît comme aussi long, voire plus long que les autres, puisqu'il coïncide avec la pause l'holorythme de l'holorythme :



La seule syllabe sans point est en position pour, mais on peut aussi rythmer :



Pour ces deux exemples musicaux et poétiques, l'on peut constater que le temps rythmique est plus complexe et qu'il faut, pour l'interpréter, plusieurs niveaux potentialisés, un seul étant actualisé. Mais en cours d'interprétation, on peut passer d'un niveau à l'autre, c'est-à-dire, actualiser tel ou tel niveau, à condition de ne pas perdre de vue l'holorythme de l'œuvre qui comme un fil rouge est rythmé si l'on veut bien se plonger dedans. Le temps métrique implique au contraire qu'on considère l'œuvre, comme un schéma, c'est-à-dire, une forme qui est réalisée, posée en quelque sorte comme un objet, existant à l'intérieur, il est plus quantitatif et plus linéaire que le temps

NOTES

1/ Problèmes de linguistique générale Tome I 1966. E. Benveniste NRF Gallimard. La notion de rythme dans son expression linguistique. p.327 et sq.

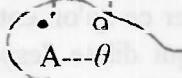
2/ Le cycle des saisons se présente à partir d'un point de départ, le long d'un axe temporel ordinal: 1^{er} primum tempus ---> printemps, 2^o été, 3^o automne, 4^o hiver ou sous la forme d'une révolution. : on revient au même point de départ et on recommence.

Le rythme des saisons est constitué d'une arsis et d'une thésis ou d'une tension et d'une détente, soit:

printemps, été ----- automne, hiver
Arsis ----- Thésis

Les courbes visualisent les arsis et thésis des rythmes.

La métrique musicale, c'est par ex: l'analyse en mesures de trois temps:

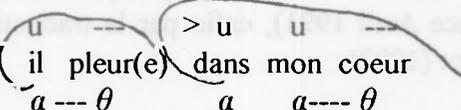
du thème de la passacaille (cf planche en appendice), tandis que la rythmique, c'est l'union intime d'une arsis et d'une thésis soit  et ceci à 4 niveaux ou échelles.

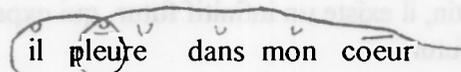
La métrique poétique, c'est le nombre de syllabes d'un vers par ex:

1 2 3 4 5 6

il pleure dans mon coeur.

La rythmique poétique, c'est:

ou bien: 

ou bien: 

Une courbe bouclée visualise un rythme composé.

3/ David Bohm dans 'la conscience et l'univers' définit l'holomouvement p.173 et p.13 de la Préface de Stanislav Grof: la plénitude de l'Univers. Ed. du Rocher Collection l'Esprit et la matière. La conception qu'il a du temps, de la causalité et de la réalité l'amène à rechercher les paramètres cachés, à donner une description Einsteinienne de la physique quantique: il est partisan d'un réalisme physique "pur et dur" (cf ce qu'en dit B. d'Espagnat dans "Une incertaine réalité" Gauthier-Villars 1985).

4/ I. Prigogine a écrit un livre intitulé: Entre le temps et l'éternité en 1988 chez Fayard. Il me semble que le terme perpétuité eût été plus propre que le terme éternité. La perpétuité (cf le mouvement perpétuel reste dans le temps, certes skhématique, c'est-à-dire dans l'espace-temps réversible, tandis que l'éternité est hors-temps, nous franchissons la barrière entre physique et métaphysique. Les lois "intemporelles" sont-elles éternelles ?" Tant qu'on opposera le mouvement à la fixité, le temps à l'éternité, tant qu'on opposera la flèche du temps irréversible, au temps réversible (alors que celui-ci aussi est flêché), tant qu'on ne verra pas que le premier implique une objectivité faible, et le deuxième une objectivité forte (au sens où l'entend B. d'Espagnat), on exclura l'un au profit de l'autre. Ce qu'il faut, c'est les penser dialectiquement: quand le premier est actualisé, le deuxième est potentialisé, et réciproquement. La thermodynamique me semble comporter les deux temps: son premier principe ou principe d'équivalence et de conservation de l'énergie repose sur l'espace-temps réversible, tandis que le deuxième principe fait apparaître l'irréversibilité et la notion d'entropie qui ne peut qu'augmenter en thermodynamique classique, mais peut diminuer en thermodynamique des processus irréversibles, (cf les travaux d'I. Prigogine).

5/Evoquer l'expansion de l'Univers n'est évidemment qu'une comparaison destinée à illustrer ce qu'on entend par temps-espace irréversible: c'est alors le temps premier qui dilate l'espace, alors que dans l'espace-temps réversible, c'est l'espace premier qui dilate le temps. D'où l'ordre inversé des termes : temps-espace irréversible, espace-temps réversible.

(= Rhuthmos) (=Skhêma)

6/Alain Bouquet que je connais surtout par quelques articles consacrés au temps: " Dans L'abîme du temps" (Ciel et Espace) et "le sens du temps" (Ciel et Espace Avril 1991), enfin par la traduction de 'Superforce' de Paul Davies Ed. Payot (1987).

7/En latin, il existe un infinitif futur, qui exprime la postériorité dans le présent, passé, futur:

Dico pueros cursuros esse	je dis que les enfants courent
Dixi pueros cursuros esse	j'ai dit que les enfants courraient
Dicam pueros cursuros esse	je dirai (demain) que les enfants courent

(Le lendemain).

Le conditionnel "courraient" exprime une postériorité dans le passé, c'est un conditionnel-temps et n'a pas du tout un sens modal.

En Français, l'infinitif futur n'existe pas et le présent peut exprimer la postériorité: j'espère venir.

L'infinifif passé a pratiquement disparu, sauf pour exprimer une cause, toujours antérieure à l'effet: il est puni pour avoir volé.

(Conséquence) (Cause)

8/Ce que dit +710 à compter de la fondation de Rome pour dater la mort de César, ce que dit également -44 ou 44 avant J.Christ, à compter de la naissance de Jésus Christ. Il est entendu que les dates de la fondation de Rome, comme de la naissance de J.Christ sont conventionnelles et qu'on en discute encore: ce sont des dates officielles.

9/ J.Schneider: Observatoire de Paris (CNRS Meudon).Prépublication d'un article intitulé "L'instant présent, la relativité restreinte et la mécanique quantique."

10/ Il me semble que plutôt que de parler de présent, passé, futur dans le schéma des deux cônes de Minkowski, on devrait parler de simultanéité, antériorité, postériorité.En relativité restreinte, le texte d'Einstein ne parle que de simultanéité, antériorité, postériorité (cf le paragraphe 9 "La relativité de la simultanéité" dans la petite bibliothèque Payot 1956).

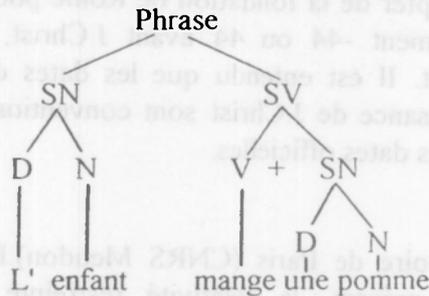
11/ La psychologie génétique de J.Piaget, qui tend à décrire l'ontogénèse de l'intelligence chez l'enfant et du langage en tant qu'acte d'énonciation intérieur à l'enfant, puis en tant qu' instrument de communication extérieur à l'enfant, rencontre les notions de temps, de causalité, de réel.L'on constate que l'enfant va du syncrétisme vers l'analytique, de l'oral vers l'écrit, de la non-conservation des quantités vers la conservation de celles-ci; et chaque stade actualise le temps-espace irréversible et potentialise l'espace-temps réversible, qui, ensuite, s'actualise, tandis que le premier se potentialise.

12/ Patience dans l'Azur d'H.Reeves,Ed.Seuil 1981 p.202 et sq.

13/H.Reeves dans ses deux derniers ouvrages: Dernières nouvelles du Cosmos I et II a dû distinguer des pistes vertes pour les non-spécialistes (dont je suis) et des pistes rouges qui développent les équations.

14/Le principe de cette rythmisation est emprunté au nombre Musical grégorien ou rythmique grégorienne de Dom André Mocquereau Solesmes, Desclée-Rome, Tournai 1908 Tome I.

15/ On peut mettre en parallèle les arborescences de la phrase, telle que la Grammaire générative et transformationnelle de N.Chomsky procède:



16/On devrait plutôt parler de syllabes accentuées, non-accentuées, ou longues, brèves que de syllabes toniques et atones, car l'intensité joue peu de rôle dans la rythmisation des séquences syllabiques sauf dans le cas d'accent émotif. Par ex: Éffrayant ou mÉrveilleux (qui d'ailleurs n'efface pas l'accent rythmique normal de fin de mot).

17/ Si, faisant abstraction du thème musical de la planche I, on prolongeait la rythmisation à +oo et à -oo, on obtiendrait un temps-espace irréversible, mais aussi un espace-temps réversible fractals. Personnellement, je ne peux m'empêcher d'évoquer ici la relativité d'échelles de L.Nottale: il y aurait à -oo une échelle minimale invariante par les dilatations et contractions: h= le quantum d'action de Plank; comme à +oo, il y a C la vitesse indépassable de la lumière. Mais le quantum d'action est une action, donc située dans le temps-espace irréversible, tandis que C est une vitesse soit: E/T et comme telle, située dans l'espace-temps réversible. Dans l'expérience des horloges d'Hafèle, il ne s'agit pas de rythmes différents, il s'agit de vitesses différentes: dilatation du temps des horloges voyageuses par rapport aux horloges restées au sol. En musique, quelque soit le tempo, plus ou moins rapide, le rythme de la Passacaille par ex reste le même !

Thème de la Passacaille en Do mineur de J.S.Bach.

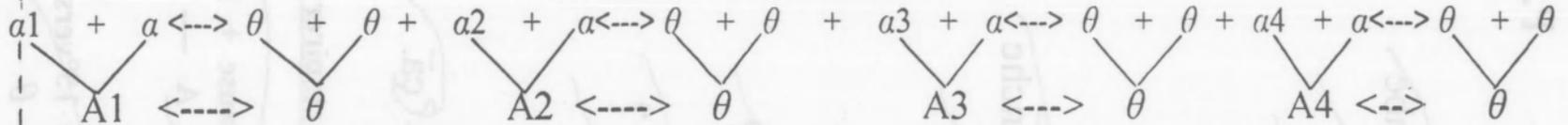


Rythmisation:

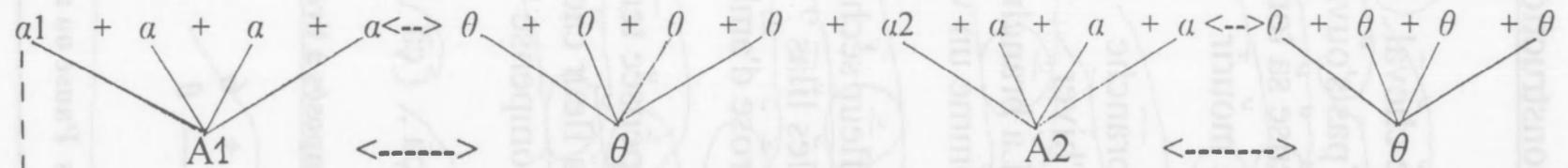
8 rythmes

élémentaires: $a_1 \langle \text{----} \rangle \theta + a_2 \langle \text{----} \rangle \theta + a_3 \langle \text{----} \rangle \theta + a_4 \langle \text{----} \rangle \theta + a_5 \langle \text{----} \rangle \theta + a_6 \langle \text{----} \rangle \theta + a_7 \langle \text{----} \rangle \theta + a_8 \langle \text{----} \rangle \theta$

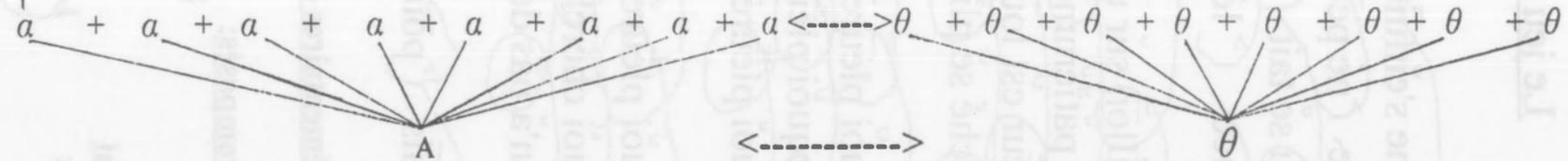
4 rythmes composés



Deux rythmes surcomposés



Un Rythme Général:



Métrique:

et Scansion: soit trochaïque $\circ \bullet$ soit iambique $\bullet \circ$ mètres à trois temps qui sont l'image dans un miroir l'un de l'autre. (combinatoire de $\text{---} + \cup$ ou de $\cup + \text{---}$).

Ce tableau est à lire verticalement et horizontalement.

Le jeu de construction

P. Eluard.

L'homme s'enfuit, le cheval tombe
La porte ne peut pas s'ouvrir
L'oiseau se tait, creuse sa tombe
Le silence le fait mourir

Un papillon sur une branche
Attend patiemment l'hiver
Son cœur est lourd. La branche penche
La branche se plie comme un ver

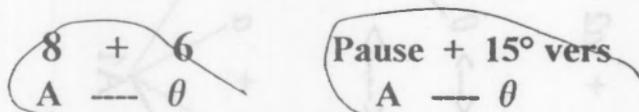
Pourquoi pleurer la fleur séchée
Et pourquoi pleurer les lilas ?
Pourquoi pleurer la rose d'ambre ?

Pourquoi pleurer la pensée tendre ?
Pourquoi chercher la fleur cachée
Si l'on n'a pas de récompense ?

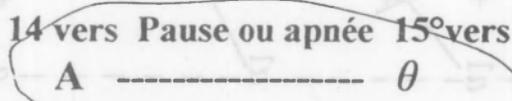
- Mais pour ça, ça et ça.

Rythmes élémentaires et composés à lire et à respirer selon les courbes.

2 Rythmes surcomposés:



Rythme Général
ou Holorythme:



N.b: l'exposant > est un silence de respiration, rythmé, arsique.

u — désigne les syllabes brèves et longues.

Les courbes visualisent dans l'espace le rythme.

Les boucles visualisent les rythmes composés.

Les Rythmes Biologiques :
de la Biologie Moléculaire au Comportement

CANGUILHEM B.
Strasbourg

Les Rythmes Biologiques : de la Biologie Moléculaire au Comportement

B. CANGUILHEM

L'histoire des rythmes biologiques remonte à l'Antiquité et à la découverte, faite par des naturalistes grecs, que les feuilles de certaines plantes n'occupaient pas, par rapport à la tige, la même position la nuit et le jour. On disait alors que ces feuilles dormaient et l'on rendait responsable de ce mouvement le mouvement du soleil et du système planétaire. Rien n'a changé de cette conception jusqu'au début du 18^e et du 19^e siècle où deux botanistes français, de Mairan et de Candolle, apportèrent les premiers éléments en faveur d'une origine endogène des rythmes et de l'action modulatrice de l'alternance de la lumière et de l'obscurité sur ceux-ci. Ces expériences, incomprises de leur temps, furent redécouvertes par la suite quand naquit, sous l'impulsion des botanistes puis des physiologistes allemands et anglo-saxons, une véritable étude scientifique des rythmes biologiques à la fin du 19^e et au début du 20^e siècle, discipline en plein essor aujourd'hui balayant un champ qui va de la biologie moléculaire aux fonctions intégrés, de l'unicellulaire à l'homme sain ou malade.

Description des rythmes biologiques

Définition d'un rythme biologique

On appelle rythme biologique la variation régulière au cours du temps d'une grandeur biologique quelconque. Un rythme est caractérisé par sa période, intervalle de temps séparant l'apparition des deux événements identiques, son amplitude, écart entre la valeur la plus élevée ou la plus faible et le niveau moyen défini par la moyenne arithmétique des valeurs

mesurées lorsque celles ci sont faites à intervalles de temps égaux et suffisamment rapprochés, par sa phase enfin correspondant à chacun des états successifs du phénomène en évolution. S'il s'agit d'un rythme se déroulant comme une sinusoïde on peut calculer la phase par rapport à sa valeur à l'origine et définir une acrophase ou maximum, point le plus élevé des valeurs sur l'échelle du temps et une bathyphase ou minimum, son opposé.

La valeur de la période permet d'individualiser trois grandes catégories de rythmes : ceux de haute fréquence (la fréquence est l'inverse de la période) ou rythmes ultradiens dont la période varie de la milliseconde à l'heure ou au delà, jusqu'à vingt heures, ceux de moyenne fréquence, comprise entre 20 et 28 heures, ceux de base et de très basse fréquence ou infradiens au delà de 28 heures, pouvant atteindre le mois ou l'année. Dans toutes ces catégories se distinguent particulièrement des rythmes dont la période est calée sur celles des rythmes astronomiques dominants : rythmes de marée, rythmes journaliers ou annuels respectivement appelés circadiens ou circannuels, nous verrons pourquoi ultérieurement.

Les rythmes concernent tous les êtres vivants appartenant à tous les règnes, on les trouve aussi bien chez les procaryotes que chez les eucaryotes, chez les animaux cavernicoles que chez ceux soumis à l'alternance normale du jour et de la nuit, ils concernent la morphologie de la cellule et de ses organites, toutes ses fonctions, de la membrane à la synthèse protéique, le comportement des organisme et leur développement (mue, diapause, dormance etc...) aussi bien que leurs grandes fonctions végétatives et leur système nerveux central. Tout vivant est rythmique, à tous les niveaux de son organisation. La propriété rythmique de la matière vivante est l'une des plus fondamentales à côté de la transformation de l'énergie, de l'auto organisation et de la reproduction. En prenant en compte la dimension temporelle elle permet de distinguer le vivant de l'inanimé.

Au sein d'un même organisme coexistent des rythmes de différentes périodes dont les acrophases ne coïncident pas, couvrant tout le nyctémère, conférant ainsi à l'organisme une structure temporelle personnelle au même titre que sa structure spatiale, anatomique, différente de celle d'un autre organisme.

Propriétés formelles des systèmes rythmiques circadiens.

Parmi la diversité des rythmes biologiques ceux dont la période est comprise entre 20 et 28 heures ont particulièrement retenu l'attention des chercheurs intrigués par le fait que la période de ces rythmes étaient très proche de celle du nyctémère. L'une des conditions expérimentales utilisées pour l'étude de ce phénomène a consisté à soustraire les organismes

-plantes ou animaux, homme compris- à toute influence des variations périodiques de l'environnement. Dans ces conditions, dites de libre cours, l'animal ou la plante est soustrait à l'alternance régulière du jour et de la nuit, placé soit en obscurité totale (DD) ou en lumière continue de faible intensité (LL) pendant plusieurs jours voire plusieurs semaines ou mois, la température et l'hygrométrie étant maintenues constantes dans une chambre isolée phoniquement où personne ne pénètre, où les provisions de nourriture et d'eau sont suffisantes pour couvrir tous les besoins et qui dans certains cas, est bâtie de façon telle que les vibrations du sol sont éliminées. Malgré ces conditions très éloignées des conditions habituelles tous les organismes étudiés, plantes ou animaux, unicellulaires ou métazoaires, homme compris, présentent des rythmes biologiques d'une périodicité voisine de 24 heures. Selon les espèces, la présence ou l'absence d'éclairement (DD ou LL), la période est plus grande ou plus petite que 24 heures, mais elle en diffère toujours. C'est la raison pour laquelle ces rythmes furent appelés circadiens de *circa* (autour) de *dies* (jour), ce terme étant par la suite, et par extension, appliqué à l'année -rythme circannuel- lorsqu'on s'aperçut de la persistance et de la recurrence de rythmes de basse fréquence chez des animaux maintenus en libre cours.

L'existence des rythmes circadiens et circannuels signe leur origine endogène : la rythmicité est inhérente au vivant. L'endogénie ne fut pas admise d'emblée. Certains chercheurs prétendaient que tous les facteurs physiques de l'environnement n'étaient pas contrôlés en conditions de libre cours dont la variation périodique pouvait être à l'origine de la rythmicité observée. Parmi eux l'effet de la variation du champ magnétique terrestre a été invoqué. La controverse fut close lorsqu'au cours d'une mission Spacelab on constata que le rythme circadien de conidiation d'une moisissure, *Neurospora crassa*, persistait en apesanteur.

Endogènes, les rythmes circadiens et circannuels se transmettent génétiquement. Le rythme d'éclosion des pupes de la drosophile persiste toujours après 15 générations élevées en conditions constantes de même que le rythme de l'activité locomotrice de souris après 25 générations.

Une troisième propriété a fait couler beaucoup d'encre : il s'agit de l'homéostasie thermique. Découverte d'abord sur les végétaux elle fut notamment étudiée chez la drosophile. Certains chercheurs avaient émis l'hypothèse que l'origine des rythmes circadiens était de nature chimique. Si tel était le cas, ces rythmes devaient obéir à la loi de Van't Hoff - Arrhenius ou règle du Q_{10} . Le Q_{10} est le rapport des vitesses auxquelles s'effectue une réaction chimique tel qu'une élévation thermique de 10°C double approximativement la vitesse des réactions. Dans le cas des rythmes biologiques la valeur de la période devrait dépendre de la température externe à laquelle sont menées les expériences. Or il n'en est rien, les Q_{10} observés pour les rythmes circadiens sont généralement compris entre 0,85 et 1,10 au lieu de valeurs comprises entre 2,5 et 3 habituellement observés

pour les réactions chimiques. Ce fait concerne les plantes aussi bien que les animaux poïkilothermes ou homéothermes chez lesquels le phénomène est plus difficile à mettre en évidence. Il s'observe aussi chez les unicellulaires et concerne tous les rythmes, ultradiens comme circadiens, de nature chimique ou comportementale. La cause de la compensation thermique, autre nom donné à ce phénomène, est pour l'instant toujours inconnue.

Une quatrième propriété des rythmes biologiques est leur flexibilité. La flexibilité correspond à la propriété que présentent les rythmes circadiens de pouvoir modifier leur période. Dans les conditions habituelles les organismes ne vivent pas en conditions constantes. Ils sont soumis à toute les variations nycthémerales des facteurs physiques présents dans l'environnement : alternance lumière-obscurité, variation de la température et de la pluviosité, environnement socio-écologique, etc.... Dans ces conditions la période des rythmes circadiens devient égale à 24 heures, ce qui signifie que leur période endogène s'est soit allongée soit raccourcie sous l'influence de ces facteurs environnementaux. On appelle synchronisation ou entrainement le mécanisme qui modifie la période des rythmes. On appelle synchroniseur, entraineur ou zeitgeber (donneur de temps) le facteur environnemental dont la variation cyclique est capable d'asservir un rythme biologique et de lui imposer sa propre période. Ainsi un rythme circadien dont la période endogène est toujours différente de 24 heures est constamment remis à l'heure lorsque la plante, l'animal ou l'homme chez lequel il est mesuré est soumis à l'influence du nycthémère. Les rythmes circadiens sont des montres qui avancent ou retardent régulièrement et qui sont remises à l'heure quotidiennement.

Le principal zeitgeber est la lumière ou plus exactement l'alternance lumière-obscurité. La température externe, la pluviosité, les sons et d'innombrables facteurs socio-culturels jouent également ce rôle.

La flexibilité ou plasticité des rythmes à l'action d'un synchroniseur présente des limites. Au laboratoire on a soumis des plantes ou des animaux à des alternances lumière-obscurité de périodes supérieures ou inférieures à 24 heures : des jours de 22, 25 ou 28 heures par exemple. Dans ces conditions la période des rythmes biologiques suit celle du zeitgeber jusqu'à une limite supérieure et inférieure, variable selon les organismes, puis il y a un phénomène d'échappement et le rythme biologique retrouve sa période endogène. L'entrainement obéit à des règles qui dépendent des valeurs respectives de la période du rythme entraineur et du rythme entraîné. Une relation de phase précise s'installe entre les deux rythmes de façon stable. C'est la constance de cette relation de phase, mesurée au laboratoire en heures, minutes ou degrés d'arc, qui permet aux organismes vivants un repérage temporel dans leur environnement fluctuant.

Pour qu'un synchroniseur agisse il faut que le rythme biologique soit sensible à son action. Dans le cas de la lumière, comme avec tous les autres

zeitgebers, cette action ne s'effectue pas n'importe quand : il y a des moments de sensibilité à la lumière et d'autres où elle est sans effet. Lorsqu'on étudie ce phénomène l'organisme est son propre témoin. Il est placé en conditions de libre cours et l'expérimentateur utilise des signaux de lumière de durée assez courte -quinze minutes en général- balayant successivement toute les heures du nyctémère. Chaque signal est donné une seule fois et le suivant est délivré plusieurs jours après de façon à pouvoir étudier ses effets sur le rythme biologique.

Ces effets sont triples et de nature opposée et entraînent :

- soit un retard de phase. L'activité locomotrice d'un petit rongeur par exemple commence plus tard que prévu. Ceci se produit lorsque le signal est donné au début des heures correspondant à la nuit ;
- soit une avance de phase dans les dernières heures de la nuit où l'activité commence plus tôt que prévu ;
- soit le signal n'entraîne aucun effet, l'activité de l'animal commençant à l'heure prévue. C'est le cas lorsque le signal est donné pendant les heures qui correspondent au jour de l'animal, s'il était maintenu en alternance lumière obscurité normale.

En portant sur un graphique les avances et retard de phase en fonction du temps astronomique on obtient une courbe de réponse de phase qui traduit l'existence d'une sensibilité à la lumière s'inversant pendant la nuit. Cette courbe est universelle, des unicellulaires à l'homme, elle diffère d'une espèce à l'autre par l'importance des retards et des avances de phase, au sein d'une même espèce elle diffère d'un individu à l'autre, elle est enfin identique chez les espèces diurnes et nocturnes chez lesquels retards et avances de phase surviennent au même moment du nyctémère. La valeur des avances et des retards de phase fixe les limites de l'entraînement.

L'existence de la courbe de réponse de phase permet de comprendre la synchronisation. Pour entraîner un rythme dont la période endogène est plus petite que celle du zeitgeber il faut que le zeitgeber -lumière ou autre- tombe dans la partie retard de phase de façon à allonger la période endogène. C'est l'inverse si celle ci est plus grande que celle de l'entraîneur.

La courbe de réponse de phase traduit les propriétés du système à l'origine des rythmes circadiens. Qu'il s'agisse du comportement locomoteur des petits rongeurs, des mouvements des feuilles des plantes, de l'éclosion des pupes de drosophile ou de la luminescence émise de façon circadienne par des algues unicellulaires, tous ces rythmes ne sont que la partie visible du processus caché qui leur a donné naissance. On compare le système rythmique à une horloge et à ses aiguilles l'expérimentateur a directement accès aux rythmes visibles, apparents (les aiguilles de l'horloge), le mécanisme (l'horloge) lui restant caché n'étant accessible que par le biais du protocole expérimental particulier exposé plus haut qui lui permet l'étude de ce mécanisme par les modifications induites sur le déroulement du rythme visible.

La découverte qu'il existait chez tous les organismes vivants un processus identique à l'origine des rythmes circadiens a été d'une importance capitale dans la compréhension et l'étude des rythmes. On a donné le nom d'oscillateur central ou de pacemaker à ce processus de nature encore inconnue, on a tenté d'en comprendre les propriétés et de les modéliser. On a tenté enfin de le localiser.

Dans le cadre de cet article il n'est pas question pour nous d'exposer le détail de toutes ces recherches. Le problème n'est d'ailleurs pas le même chez l'unicellulaire et le métazoaire. Chez celui là l'oscillateur fait partie de la cellule elle même. Chez celui ci on peut imaginer qu'une structure anatomique particulière ou un groupe de cellules jouent le rôle d'oscillateur central même si certains organes isolés cultivés *in vitro* présentent des rythmes circadiens. Au cours de ces dernières années - particulièrement les dix dernières- les progrès de la biologie moléculaire d'une part et de la neurophysiologie d'autre part ont permis d'avancer à grands pas.

Localisation des Oscillateurs Circadiens

Biologie moléculaire des oscillateurs circadiens

Les rythmes circadiens sont héréditaires. En 1971 est publiée la première description d'une mutation affectant le rythme circadien d'éclosion de la drosophile. Trois mutants de période, trois allèles du même gène baptisé *per*, sont obtenus par mutagenèse chez lesquels le rythme est soit absent, soit raccourci, soit allongé. Peu après des mutants de période sont découverts qui affectent le rythme de conidiation d'une moisissure, *Neurospora crassa*. Le gène est baptisé *frq*. Les mutants présentent aussi soit une absence de rythme, soit des rythmes plus courts ou plus longs que 24 heures. Les deux mutations sont pleiotropiques. Chez la mouche le rythme circadien de l'activité locomotrice, le rythme ultradien du chant nuptial chez le mâle sont touchés de la même façon que le rythme d'éclosion. La compensation thermique disparaît chez certains mutants de la mouche comme de la moisissure.

Dans le milieu des années 80 les gènes ont été clonés, les protéines PER et FRQ isolées ainsi que leurs ARN messagers et des expériences de transfection ont permis d'apporter la preuve que les gènes de souches rythmiques étaient capables de restaurer la rythmicité de souches arrhythmiques. Les expériences les plus récentes amènent à penser que PER et FRQ sont synthétisées de façon rythmique et que ce mécanisme fait partie de

l'oscillateur lui-même. On sait que les ARN messagers de *per* et *frq* présentent une rythmicité circadienne. On sait que les deux protéines exhibent aussi une rythmicité circadienne dont l'acrophase est décalée de plusieurs heures par rapport à celle de leur ARN messager. Deux expériences parues presque en même temps ont prouvé que les deux protéines pénétraient dans le noyau pour agir en retour sur leur propre ADN et inhiber leur propre transcription. Nous avons maintenant un modèle dont on a réussi à prouver qu'il fallait un peu moins de 24 heures pour qu'il revienne à son état initial.

La réalité est en fait plus complexe. Chez la mouche comme chez *Neurospora* d'autres mutants de période impliquant d'autres gènes ont été découverts. Parmi eux le gène *timeless* de la mouche a récemment été cloné et sa protéine, TIM, isolée. Le gène *timeless* joue un rôle central dans le fonctionnement de l'oscillateur. D'autres gènes s'autorégulent par le biais de la protéine pour laquelle ils codent sans pour autant que l'ensemble gène-protéine présente un rythme circadien. Dans le cas de la mutation *timeless* les mutants présentent des modifications de période alors que la rythmicité de l'ARN messager de *per* est supprimée. Ce fait laisse supposer que TIM pourrait contrôler PER. C'est effectivement ce qui vient d'être montré. TIM et PER forment un dimère qui pénètre dans le noyau et rétroagit sur leurs propres gènes. Le temps nécessaire pour que les protéines s'accumulent dans le cytoplasme et s'y assemblent explique le délai avec lequel le dimère entre dans le noyau et permet de comprendre pourquoi l'ensemble oscille avec une période de 24 heures.

Poussant plus loin leurs recherches les expérimentateurs viennent de découvrir chez la mouche l'explication moléculaire des effets que la lumière provoque lors de l'obtention d'une courbe de réponse de phase. A l'état normal le complexe TIM-PER se dissocie à l'aube. Dans le cas de la courbe de réponse de phase on sait que la lumière donnée pendant la nuit entraîne également une dissociation du complexe en détruisant TIM. Le retard de phase observé en début de nuit s'explique par le fait qu'à ce moment du cycle il reste encore assez d'ARN messager de *tim* pour reconstituer un dimère qui atteindra le noyau avec un certain retard. Plus tard dans la nuit il n'en va pas de même. Le dimère a déjà pénétré le noyau où il a commencé à réprimer les gènes *tim* et *per*. La destruction de TIM par la lumière supprime cette rétroaction négative et le système recommence à osciller plus précocément. Chez *Neurospora* la lumière agit directement sur FRQ pour provoquer avance ou retard de phase. En quelques années à peine la nature de l'oscillateur et la façon dont il est contrôlé par le zeitgeber lumineux semblent élucidées. Il est probable qu'il faudra complexifier le modèle qui ne tient compte, pour l'instant, que de deux gènes chez la mouche et d'un seul chez la moisissure alors que nous savons que dans l'un et l'autre système bien d'autres gènes sont en cause. Certains mutants de période existent aussi chez des unicellulaires ou des mammifères comme le hamster doré ou la souris mais nous sommes beaucoup moins avancés à leur sujet.

L'obtention des protéines d'un gène permet de fabriquer des anticorps dirigés contre cette protéine. En les rendant fluorescents on peut localiser les cellules ou organes exprimant la protéine. C'est l'une des techniques qui a permis de faire progresser nos connaissances sur l'anatomie des oscillateurs à côté de techniques plus classiques d'ablation, de destruction sélective de structures cérébrales ou de greffe.

Localisation anatomique des oscillateurs

Toutes les structures anatomiques pouvant prétendre au rôle d'oscillateur circadien ont en commun la particularité d'être situées au voisinage de l'oeil ou bien être reliées à des structures pouvant capter les photons sans être cependant impliquées dans la fonction visuelle. La perception de la lumière peut être oculaire ou extra oculaire voire, comme chez les mammifères, strictement rétinienne.

Chez la mouche les ocelles et un petit nombre de cellules au voisinage du protocerebrum expriment les anticorps anti PER et chez les insectes en général le ou les oscillateurs sont situés dans le cerveau ainsi qu'en témoignent les expériences de greffe cérébrale où le cerveau d'un donneur rythmique permet de restaurer le rythme du donneur chez un mutant arythmique. Chez les mollusques marins comme l'Aplysie ou *Bulla* l'oscillateur est composé d'un groupe de 200 neurones environ, situés à la base de l'oeil, sans rapport avec les photorecepteurs. L'activité électrique de chacun de ces neurones oscille autour de 24 heures. Chez les vertébrés quatre organes, l'oeil, les photorécepteurs profonds, la glande pinéale et les noyaux supra chiasmatiques de l'hypothalamus antérieur jouent, seuls ou en association, le rôle d'oscillateur central, l'hypothalamus semblant jouer un rôle de plus en plus important au fur et à mesure qu'on s'élève dans la série animale. Alors que chez les Oiseaux, trois systèmes oscillants ont été reconnus, l'oeil, la pinéale, les noyaux suprachiasmatiques, sans qu'on sache encore bien aujourd'hui si l'ensemble est organisé en réseau fonctionnel ou si l'une de ces structures, la pinéale probablement, se comporte comme oscillateur principal, chez les Mammifères au contraire, seuls les noyaux supra chiasmatiques jouent le rôle d'oscillateur principal. Ces noyaux, situés au dessus du chiasma optique, sont reliés à la rétine par une voie directe, monosynaptique, le faisceau rétino hypothalamique et par une voie indirecte faisant relai dans le feuillet inter géniculé du thalamus. Les efférences sont multiples concernant tous les noyaux de l'hypothalamus, le thalamus et certains aires corticales et la glande pinéale par une voie compliquée qui sort du nevraxe au niveau de la moelle cervicale pour y entrer à nouveau après relai dans le ganglion cervical supérieur.

Leur destruction bilatérale supprime la totalité des rythmes circadiens chez les petits rongeurs. Certains peuvent réapparaître au bout

d'un certain temps mais le rythme locomoteur, celui de l'alternance veille-sommeil restent toujours perturbés. Chez les primates l'effet des lésions est moins net. Déconnectés du reste du cerveau ou isolés et cultivés *in vitro* les noyaux supra chiasmiques exhibent un rythme circadien de leur activité neuronale à acrophase diurne chez toutes les espèces étudiées. Les neurones de ces noyaux contiennent de nombreux neuropeptides parmi lesquels la vasopressine dont l'ARN messager présente aussi un rythme circadien. L'incorporation de 2 deoxyglucose témoin de la dépense énergétique des neurones se fait selon un rythme circadien. Injectés *in situ* à différents moments du nyctémère de nombreux composés provoquent des avances ou des retards de phase permettant d'établir une courbe de réponse de phase. La greffe de noyaux supra chiasmiques foetaux provenant de hamsters dorés mutés à période plus courte (22 heures) que celle des témoins restaure la rythmicité chez des témoins lésés arythmiques, l'inverse étant aussi vrai, ce qui permet de rendre "rapide" un animal "lent" et réciproquement.

Tous ces résultats, notamment ceux des greffes croisées qui montre que les propriétés rythmiques sont l'apanage du donneur, font que l'on considère aujourd'hui les noyaux supra chiasmiques comme la structure majeure du système circadien des mammifères. La population neuronale de ces noyaux est très petite, dix mille cellules environ par noyau chez le rat et le hamster doré et tout laisse à penser que, comme chez *Bulla*, chaque neurone est en fait un oscillateur circadien. Nous ne savons pas s'ils expriment une protéine rythmique comme PER ou FRQ mais nous savons par contre que les synchroniseurs habituels, photiques et non photiques, agissent par l'intermédiaire de gènes d'expression précoce tels *c-fos* et *jun* et de facteurs de transcription particuliers. Il est également plus que probable, au vu de nombreux récepteurs membranaires trouvés dans les noyaux supra chiasmiques, que de nombreux neuropeptides et hormones, la mélatonine en particulier, viennent contrôler le fonctionnement de ces oscillateurs primaires.

La réapparition de certains rythmes après lésions bilatérales, l'existence, en conditions de libre cours, du phénomène de désynchronisation interne où certains rythmes évoluant jusque là en phase, se découplent et adaptent des périodes souvent très éloignées l'une de l'autre font supposer l'existence d'oscillateurs secondaires habituellement asservis à l'oscillateur principal et dont la localisation exacte est pour l'instant soupçonnée plutôt que prouvée. C'est notamment le cas de l'homme dont le système circadien ne se distingue de celui de l'animal que par l'importance des facteurs socio-économiques comme synchroniseurs.

Les travaux en cours visent désormais à comprendre comment cette "horloge interne" contrôle des rythmes biologiques aussi différents que l'alternance veille-sommeil, le comportement alimentaire, dipsique ou locomoteur, l'activité des glandes endocrines ou du système immunitaire. Pour ce qui concerne les vertébrés, les mammifères en particulier, seul le contrôle de la

pinéale est pour l'instant élucidé. Nous connaissons par le détail la voie qui relie les noyaux supra chiasmatisques à la glande. Nous comprenons ainsi comment l'organisme est renseigné via un signal chimique, en l'occurrence la mélatonine, principale hormone synthétisée par la pinéale, sur la durée respective du jour et de la nuit. La mélatonine en effet n'est sécrétée qu'en absence de lumière, c'est l'hormone de l'obscurité, celle qui permet aux animaux de se repérer au cours de l'année en distinguant les jours courts des jours longs, l'été de l'hiver, leur permettant ainsi de s'accoupler et de se reproduire à la saison appropriée. Pour ce qui concerne certaines plantes, la moisissure *Neurospora*, nous savons qu'elles possèdent de nombreux gènes contrôlés par l'horloge. On peut donc imaginer chez *Neurospora* par exemple, que FRQ contrôle à la fois son propre gène et les autres, peut être par le biais de facteurs de transcription particuliers. Peut être en est il de même avec le dimère PER-TIM. Mais ces travaux n'en sont qu'à leur début. C'est le grand chantier des années à venir.

Au terme de cette revue rapide et nécessairement incomplète il faut retenir que la dimension temporelle du vivant, tout ce qui permet aux organismes d'être en phase avec le nyctémère et les saisons, repose sur des processus apparus très tôt au cours de l'évolution puisqu'ils sont présents chez des unicellulaires eucaryotes comme prokaryotes et chez des champignons, processus dont tout ce que nous savons à l'heure actuelle nous montre qu'ils diffèrent très peu dans tous les systèmes étudiés : une "horloge" de nature protéique, localisée ou non dans des cellules particulières, contrôle via des relais l'ensemble des fonctions physiologiques et permet leur adaptation au temps astronomique. Ainsi s'explique le titre un peu provocateur de cet exposé.

Bibliographie

Un livre domine la littérature à l'exception de la biologie moléculaire :

Moore-Ede M.C.- Sulzman F.M.- Fuller C.A. : « *The clocks that time us* », Harvard University Press - 448 p. (1982)

Pour la biologie moléculaire quelques revues récentes :

Hardin, P. - Siwicki K.K. : « The multiple roles of *per* in the *Drosophila* circadian clock » *seminars in the Neurosciences* 7,15-25 (1995)

Loros J. : « The molecular basis of the *-Neurospora* clock » *seminars in The Neurosciences* 7,3-13 (1995)

Barinaga M. : « *New clock gene cloned* » *Science* 270, 732-733 (1995)

Barinaga M. : « *Researchers find the reset button of the fruit fly clock* » ; *Science* 271, 1671-1672 (1996)

*

Index

INDEX

Volumes 1 à 12

Volume 1 - Epuisé = 50 FF photocopies

Editorial <i>P. Erny et C. Jaschek</i>	1
Le Calendrier Gaulois de Coligny <i>J.P. Parisot</i>	3
Temps et Devenir I et II <i>H. Barreau</i>	23
Essai de Reconstluction des Extrema Solaires Historiques <i>J.P. Rozelot</i>	5 1
Temps, Durée et Naissance des Calendriers <i>L. Molet</i>	55
La Détermination et la Conservation de l'Heure : Histoire d'une Fonction Sociale <i>G. Jasniewicz</i>	59
Division et Continuité du Temps dans les Mythes Grecs : Le Seuil et le Cercle <i>R. Triomphe</i>	65
Abu Ma Sar et la Théorie des Grandes Conjonctions <i>E.H. Wagner</i>	81
Les Calendriers Liturgiques et les Irrégularités de la Date de Pâques <i>F. Suagher et J. P. Parisot</i>	95
Les Phénomènes "Météorologiques" dans la Tradition Populaire <i>K.A.F. Fischer</i>	1 17

Volume 2 - Epuisé = 50 FF photocopies

Editorial <i>P. Erny et C. Jaschek</i>	1
Le Zodiaque de Denderah <i>H. Andrillat</i>	3
Le Lever Hélique de Sirius <i>J.P. Parisot</i>	27
L'Astronomie des Anciens Mayas <i>G. Jasiewicz et F. Jaffiol</i>	57
"Année Platonicienne" et Période Précessionnelle <i>Ch. Lazaridès</i>	65
Les Boitiers Rituelles de Printemps <i>A. Lebeuf</i>	81
L'Observation Populaire de la Chute des Météorites (Deux Enquêtes Publiques sur les Chutes de Météorites ou la Population face à des Phénomènes Célestes) <i>A. Florsch</i>	99
La Mesure du Temps chez les Celtes <i>J.M. Le Contel et P. Verdier</i>	117
Hildegarde de Bingen : Représentations Cosmologiques <i>E. Klein</i>	135

Volume 3 - Epuisé = 50 FF photocopies

Editorial <i>P. Erny et C. Jaschek</i>	1
La Lune vue par les Grecs <i>R. Triomphe</i>	3
Le Calendrier Romain de 304 Jours <i>J. Hornecker</i>	17
Ma Traduction du Calendrier de Coligny <i>P.E A. Verdier</i>	23
L'Observatoire Astronomique de la Cathédrale Saint-Lizier de Couserans <i>A. Lebeuf</i>	39
Astronomy in Europe between 8000 and 1200 BC <i>W. Schlosser</i>	79
Nicolas Machiavel et la Structure ternaire de l'Univers <i>P. Kah</i>	93

Volume 4

Editorial <i>P. Erny et C. Jaschek</i>	1
Durée et Temps à Madagascar <i>M.L. Molet</i>	3
Gammes Planétaires et Harmonie Cosmique au Haut Moyen Age <i>J. Viret</i>	13
Le Songe de Kepler <i>H. Andriolat</i>	27
Le Carnaval et le Calendrier de Coligny <i>P. Verdier</i>	35

Volume 5 - Épuisé = 50 FF photocopies

Editorial <i>P. Erny et C. Jaschek</i>	1
Symbolique Cosmique et Images Antiques du Ciel <i>R. Triomphe</i>	5
L'Ethnographie des Astronomes <i>A. Lebeuf</i>	37
Les Moitiés Masculines et Féminines du Ciel : Astronomie de quelques Tribus Guyanaises <i>E. Magana-Torres</i>	59
Emigration - Sort d'Astronomes Allemands en 1918 et Aujourd'hui <i>Th. Schmidt-Kaler</i>	73
Les Comètes d'Atawallpa : Astronomie et Pouvoirs dans l'Empire Inca <i>M.S. Ziolkowski</i>	91

Volume 6 - Epuisé = 50 FF photocopies

Editorial

P. Erny et C. Jaschek

Le Cycle Lunaire et sa Signification chez les Indiens Mexicains 1

U. Köhler

Les Mégalithes de Bretagne et les Théories Astronomiques.
Cent ans d'interrogations. 15

J. Briard

Dans le Procès de l'Astrologie, le Rationalisme est-il tout à fait
Rationnel ? 35

C. Maillard

Commentaire sur l'Exposé de M. Maillard 49

H. Andrillat

Préoccupations Cosmologiques et Astronomiques dans les
Travaux de l'Ecole Française d'Ethnologie dans la Boucle
du Niger 53

P. Erny

Les Moitiés Masculines et Féminines du Ciel : Astronomie de
quelques Tribus Guyanaises (Article paru dans Volume 5)
Bibliographie 75

E. Magana-Torres

Volume 7

Editorial

Erny P. - Jaschek C.

Jésus, est-il né au solstice d'hiver ? - L'Invention de Noël 1

Levy M.L.

Hipparque, sa vie, son oeuvre 11

Brunet J.P. - Nadal R.

Les Incas étaient-ils capables de prévoir les éclipses de lune ? 23

Ziolkovski M. - Lebeuf A.

Le proche et le lointain : Eléments d'Ethnoastronomie
Emerillon (Guyane Française) 43

Mohan N. - Navet E.

L'Univers est-il déterminé ? 67

Andrillat H.

Un théâtre astronomique en Avignon - Le Planétarium à miroir
de Kircher (1632-1633) - Avant-projet de reconstruction 79

Oudet J.F.

La cosmologie mythologique : le rationnel dans l'irrationnel 95

Radoslavova T. - Simanov A.

Volume 8

Editorial

Jaschek C. - Erny P.

- La recherche de la vie dans l'Univers : Enjeux et perspectives 1
Davoust E.
- Le développement de la mécanique antique sous l'impulsion de l'astrologie 15
Stierlin H.
- Le dossier de l'étrange 33
Goy G.
- Plaidoyer pour la lune 43
Levy M.L.
- Les calendriers Indo-Européens 53
Verdier P.
- Observations sur l'iconographie des kudurrus cassites en Mésopotamie 71
Iwaniszewski S.
- Problèmes d'astronomie de position pour les recherches à caractère historique 101
Morando B.
- L'astronomie des Egyptiens 113
Parisot J.P.
- La datation de la vie du Christ 129
Lazarides Ch.

Volume 9

Editorial <i>Jasniewicz G. - Erny P.</i>	
L'arc en ciel : trois approches <i>Suagher F. - Parisot J.P.</i>	1
Des modèles mécaniques en astronomie : Théon de Smyrne <i>Delattre J.</i>	21
Peut-on prévoir les éclipses par le calendrier de Coligny ? <i>Verdier P.</i>	37
La lune et ses périodes <i>Parisot J.P.</i>	49
Le rapport entre le Yi King et l'astronomie <i>Afonso G.</i>	67
L'astronomie de Marianus Capella <i>Le Boeuffle A.</i>	79
L'année de 364 jours dans les livres d'Hénoch et des Jubilés <i>Lévy M.L.</i>	91
Le cas Galilée <i>Liotta R.</i>	101
Le calendrier des Slaves et l'observatoire imaginaire de Ludwik Stomma <i>Lebeuf A. - Ziolkowski M. - Sadowski R.M.</i>	117
Quelques aspects de la vision du temps chez les Mexica (Aztèques) <i>Ramirez de Arellano E.</i>	143

Volume 10

Editorial

Jasniewicz G. - Erny P.

Cosmologies et Religions

Triomphe R.

1

Pedro de Medina : un cosmographe de l'époque des Grandes Découvertes

Puel F.

41

Les vents dans l' « Astronomie de Nemrot »

Obrist B.

57

Le calendrier gaulois

Lajoux J.D.

79

Quelques réflexions sur l'idée d' "Ethnoastronomie" et les "Ethno... quelque chose" à partir de la cosmologie des Indiens Ojibwé (Amérique du Nord)

Navet E.

105

Pensée lunaire et naissances

Peterschmitt E.

115

Volume 11

Editorial

Jasniewicz G. - Erny P.

L'Univers clos de Stephen Hawking

Andrillat H.

1

Le site protohistorique des Merveilles

Jégues-Wolkiewiez Ch.

19

C.S. Peirce : Recherches Photométriques. Une tentative d'application épistémologique des conceptions peirciennes en philosophie de la perception

Bour P.E.

51

Quelques écrits à titres astrologiques parus à Paris pendant la Fronde (1648-1653)

Pillorget R.

61

Volume 12

Editorial

Jasniewicz G. - Erny P.

L'instinct cosmique
Triomphe R.

SUMER : Le pays des deux fleuves
Jegues-Wolkiewiez Ch.

Le principe anthropique : l'identité de statut épistémologique
entre sa forme faible et sa forme forte
Barreau H.

C.S. Peirce : Recherches photométriques. - Une tentative
d'application épistémologique des conceptions peirciennes en
philosophie de la perception

Erratum

Bour P.E.

1

31

61

69

Volume 11

Editorial

Jasniewicz G. - Erny P.

L'Univers clos de Stephen Hawking
Andriant H.

Le site protohistorique des Merveilles
Jegues-Wolkiewiez Ch.

C.S. Peirce : Recherches photométriques. Une tentative d'application
épistémologique des conceptions peirciennes en philosophie de la
perception

Bour P.E.

Quelques écrits à titres astrogiques parus à Paris pendant la Fronde
(1648-1653)
Pillorget R.

1

19

51

61

INDEX

Auteurs

Afonso G.	9,67
Andrillat H.	2,3 ; 4,27 ; 6,49 ; 7,67 ; 11,1
Barreau H.	1,23 ; 12,61
Bour P.E.	11,51 ; 12,69
Briard J.	6,15
Brunet J.P.	7,11
Davoust E.	8,1
Delattre J.	9,21
Erny P.	6,53
Fischer K.A.F.	1,117 ; 8,117
Florsch A.	2,99
Goy G.	8,33
Hornecker J.P.	3,17
Iwaniszewski S.	8,71
Jaffiol F.	2,57
Jasniewicz G.	1,59 ; 2,57
Jègues-Wolkiewicz Ch.	11,19 ; 12,31
Kah P.	3,93
Klein E.	2,135
Kohler U.	6,1
Lajoux J.D.	10,79
Lazaridès Ch.	2,65 ; 8,129
Lebeuf A.	2,81 ; 3,39 ; 5,37 ; 7,23 ; 9,117
Le Boeuffle A.	9,79
Le Contel J.M.	2,117
Levy M.L.	7,1 ; 8,43 ; 9,91
Liotta R.	9,101
Magana-Torres E.	5,59 ; 6,75
Maillard C.	6,35
Mohia N.	7,43
Molet L.	1,55 ; 4,3
Morando B.	8,101
Nadal R.	7,11
Navet R.	7,43 ; 10,105

Obrist B.	10,57
Oudet J.F.	7,79
Pariset J.P.	1,3 ; 1,95 ; 2,27 ; 8,113 ; 9,49
Peterschmitt E.	10,115
Pillorget R.	11,61
Puel F.	10,41
Radoslavova T.	7,95
Ramirez de Aellano M.E.	9,143
Rozelot J.P.	1,51
Sadowski R.M.	9,117
Schlosser W.	3,79
Schmidt-Kaler Th.	5,73
Simanov A.	7,95
Stierlin H.	8,15
Suagher F.	1,95 ; 9,1
Triomphe R.	1,65 ; 3,3 ; 5,5 ; 10,1 ; 12,1
Verdier P.	2,117 ; 3,23 ; 4,35 ; 8,53 ; 9,37
Viret J.	4,13
Wagner E.H.	1,81
Ziolkowski M.S.	5,91 ; 7,23 ; 9,117