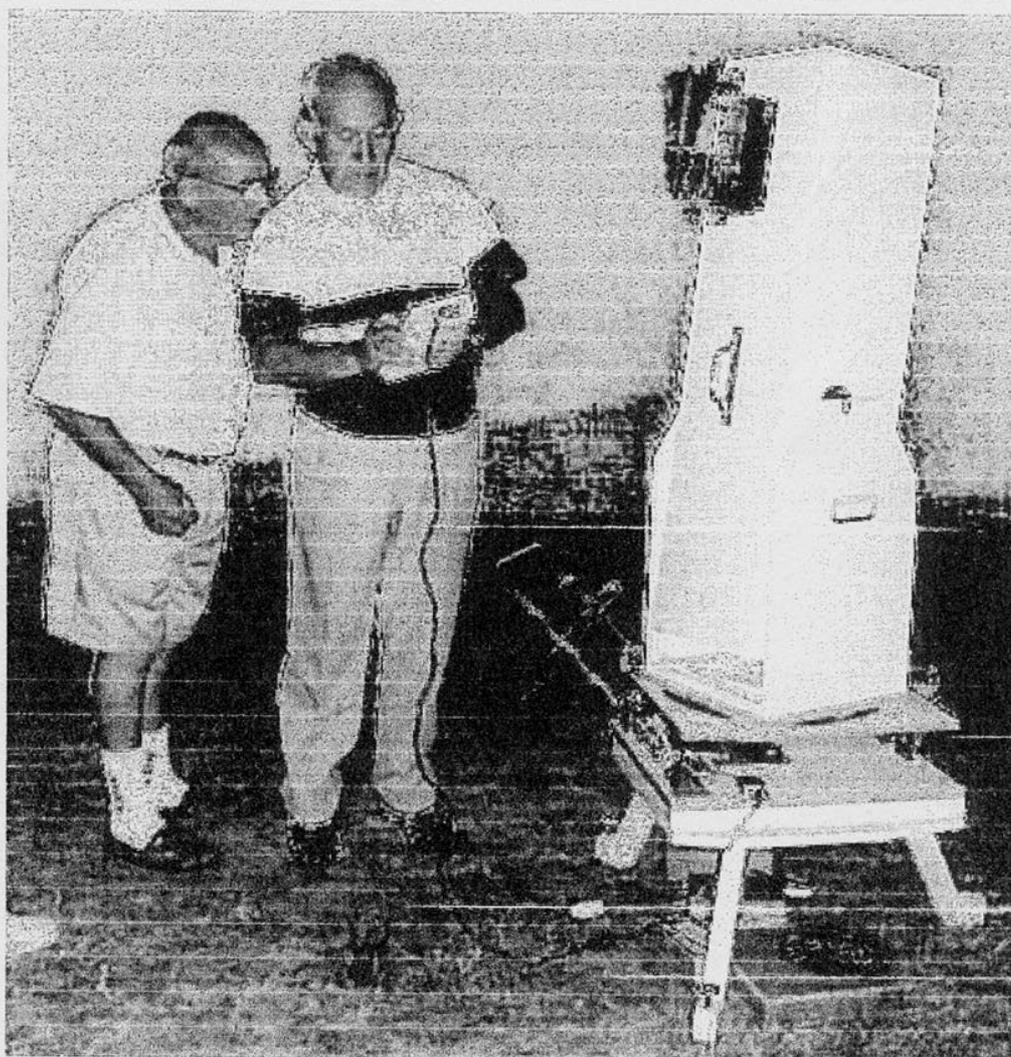


# Société Astronomique de Lyon



**Bulletin N°49 - Septembre 2000**

**SOCIETE ASTRONOMIQUE DE LYON**  
**Observatoire de Lyon**  
**69230 Saint Genis Laval**

**BULLETIN N°49 - SEPTEMBRE 2000**

**SOMMAIRE**

PAGES

Couverture : Nuit des étoiles du 11 août 2000. Robert Joie et son télescope de 25cm sur table équatoriale type Poncet. Recherche d'un astre aux coordonnées à l'aide de l'Astropocket.

- 3 - La lumière ; ondes ou particules ?  
D'après la conférence de Michel LAMBERT, par Juliette BREMOND
- 12 - Mots Croisés Astronomiques  
Par Christophe GROS
- 12 - Notes de lecture.  
Par Daniel SONDAZ
- 14 - Les origines de Greenwich.  
Par Robert PRUD'HOMME
- 23 - Y'en a marre !  
Par Claude FERRAND

**SOCIETE ASTRONOMIQUE DE LYON**

a succédé en 1931 à la Société Astronomique du Rhône, fondée en 1906.

Siège Social : U.E.R. Observatoire de Lyon, avenue Charles André, F 69230 Saint Genis Laval.

Tel. 04 78 59 58 39 e-mail : SoAs.Lyon@wanadoo.fr Internet : <http://sal.ifrance.com/sal>

Trésorerie : C.C.P. Lyon 1822-69 S

Tarifs 2000 :	Cotisation + bulletin	:	170 F
	Scolaire	:	120 F
	Famille	:	250 F

Conférences : 30 F, gratuites pour les cotisants.

Réunions : Le vendredi, Accueil de 21H à 21H30.

: Observations. Bibliothèque ; prêt de livres. Discussions et activités.

Bulletin : Les articles que vous désirez faire paraître dans le bulletin sont à envoyer au siège de la Société sous forme manuscrite, sur disquette format IBM ou par e-mail (SoAs.Lyon@wanadoo.fr).

**ISSN 1258-5378**

Tiré à 230 exemplaires sur papier 80 g, couverture 170 g sable/calcedoine.

# La lumière : ondes ou particules ?

Le sous-titre de cette conférence est : « la mystérieuse nature de la lumière », ce qui est quand même un peu paradoxal parce que c'est la lumière qui révèle la nature des choses. Donc, que la lumière elle-même soit mystérieuse, est, en ce sens, un paradoxe. Je crois qu'il est bon, pour un sujet aussi général, de situer les choses rapidement et sommairement, dans l'histoire de la science, au moins en ce qui concerne cet aspect des connaissances, matière et lumière. La solution à ce problème a énormément progressé depuis ce dernier siècle. Depuis 1900, les 25 premières années du XX<sup>e</sup> siècle, ont apporté des découvertes extrêmement importantes, à savoir :

- En 1905, la découverte de la relativité restreinte, par EINSTEIN,
- En 1915, 10 ans plus tard, la relativité générale toujours par EINSTEIN,
- En 1925, la mécanique quantique, c'est à dire tous les 10 ans

Ce sont vraiment les grandes découvertes du siècle. Je ne veux pas dire qu'après 1925 il ne s'est plus passé grand chose ; des quantités de découvertes expérimentales ont été faites ; par ailleurs, ces trois grandes théories ont beaucoup progressé. Néanmoins, les idées majeures, les idées capitales qui ont été à l'origine de tout développement scientifique de la physique au cours du XX<sup>e</sup> siècle sont dues à ces trois grandes découvertes. Par conséquent, il est intéressant de voir où en était la situation au début de ce XX<sup>e</sup> siècle qui a vu ces très grandes découvertes. Je vais donc aller très vite en développant d'abord des notions très générales.

A l'aube du XX<sup>e</sup> siècle donc, les phénomènes physiques sont étudiés et on considère que ces phénomènes se déroulent dans l'espace et au cours du temps. Nous avons une scène, c'est le contexte dans lequel se déroulent ces phénomènes. Bien entendu, c'est l'espace et le temps. Tout phénomène physique se déroule dans l'espace, au cours du temps, c'est une banalité. Par ailleurs ces phénomènes physiques mettent en jeu deux types d'acteurs : la matière et la lumière, ce sont les deux partenaires principaux en jeu dans les phénomènes.

En ce qui concerne l'espace, on considère que cet espace est repéré par rapport à ce qu'on appelle un référentiel qui fait que tout événement est repéré par rapport à des axes, aux coordonnées du point où ce phénomène se produit ; par ailleurs on suppose que cet espace est continu, c'est à dire qu'il n'y a pas de lacune dans cet espace, tous les points de l'espace peuvent être occupés par des phénomènes. On suppose que la géométrie qui fonctionne dans cet espace est la géométrie euclidienne que l'on apprend encore dans tous les lycées et collèges, et que cet espace est absolu. Que cet espace soit absolu veut dire que ça constitue un référentiel qui a une réalité intrinsèque, c'est l'espace. Par exemple, si la Terre est aplatie sur le plan équatorial, on dit *c'est parce qu'elle tourne* ; et elle tourne par rapport à quoi ? Par rapport à l'espace. On considère que cet espace absolu, que NEWTON a inventé, est un concept fondamental.

Ensuite, on s'est rendu compte, avec la relativité restreinte, qu'on ne doit pas considérer d'espace absolu, que toutes localisations sont relatives par des référentiels qui peuvent être choisis dans une certaine mesure, arbitraire.

En ce qui concerne le temps, on considère également que c'est un continuum, en ce sens que par exemple, la variable  $t$  qu'utilise le physicien, est une variable continue. Par ailleurs, on imagine que ce temps est universel et absolu, c'est à dire qu'il peut être défini de telle manière à avoir un sens absolu dans tout l'univers ; ce qui supposerait par exemple qu'on puisse dire qu'en ce moment, dans cet instant présent, il se passe quelque chose dans la galaxie d'Andromède ; on suppose que le temps est commun et universel. Là encore, la relativité restreinte a détruit cette notion, nous montrant que le temps, comme l'espace, est relatif.

Revenons à la lumière : donc tous les phénomènes mettent en jeu deux types d'acteurs sur cette scène de l'espace et du temps, d'une part, la matière, d'autre part, la lumière.

En ce qui concerne la matière, on a vu le triomphe de la théorie atomique ; on suppose donc que cette matière est portée par des particules indépendantes les unes des autres, qui réagissent entre elles par des chocs dont les mouvements sont régis par les équations de Newton.

En ce qui concerne la lumière, on savait déjà au début du siècle que la lumière, celle du moins que nous voyons, à laquelle nous sommes sensibles dans nos yeux, n'est qu'une partie extrêmement ténue d'un rayonnement qui est le rayonnement électromagnétique. Quand je dis ténue, ça veut dire que ce rayonnement est un phénomène qui est considéré comme ondulatoire, porté par des ondes, comme des ondes à la surface de l'eau, qui se déplaceraient dans un milieu matériel qu'on appelle « l'éther » et qui seraient des vibrations de l'éther. Ces vibrations, comme toutes les ondes (imaginons la surface de l'eau), ont des longueurs d'ondes, c'est à dire la distance qui sépare deux crêtes consécutives de cette onde.

Pour la lumière visible, la longueur d'onde varie seulement entre 4000 et 7000 angströms, donc une partie très faible du rayonnement complet qui lui peut varier avec des valeurs qui sont de l'ordre de  $10^{-13}$  cm jusqu'à des ondes qui peuvent faire jusqu'à plusieurs kilomètres, des grandes ondes radio par exemple. Il n'y a pas de limite supérieure à ces longueurs d'onde, pas de limite inférieure non plus. Et notre œil lui, n'est sensible qu'à une toute petite plage de ce rayonnement immense. Néanmoins c'est à partir de cette partie de rayonnement qu'on a pu réaliser tout un ensemble de mesures expérimentales qui ont pu s'extrapoler aussi bien dans l'infiniment grand que dans l'infiniment petit et nous permettre d'étudier tout cet aspect fondamental des phénomènes portés par ce qu'on appelle le rayonnement électromagnétique et dont la lumière visible n'est qu'un aspect. Tous ces phénomènes sont étudiés dans des cours d'optique et d'électricité. Ces ondes donnent lieu à des interférences. Tous ces phénomènes sont régis par des équations complètement différentes des équations de Newton, qu'on appelle les équations de Maxwell. Au début du siècle, ces ondes sont considérées comme des vibrations d'un milieu matériel hypothétique qu'on a appelé l'éther.

Alors, puisque j'ai parlé de la scène et des acteurs, quel est le programme de la physique ? Ca consiste évidemment à comprendre les phénomènes, comprendre la nature, pour savoir se servir de ces connaissances pour des applications technologiques ou plus profondément, par ailleurs, connaître les lois qui régissent ces phénomènes, c'est à dire connaître les règles du jeu que joue la nature. Alors qu'est ce que comprendre ? Si on se réfère à l'étymologie « cum préhendere » en latin, veut dire : mettre ensemble, et l'intelligence, c'est « inter ligare » lier ensemble. Donc, comprendre, c'est voir la profonde unité de tous ces phénomènes qui nous paraissent très différents les uns des autres, c'est une fantasmagorie des apparences, et comprendre, c'est s'apercevoir que nous ne sommes pas en présence uniquement de cette fantasmagorie, comme si tous ces phénomènes étaient indépendants les uns des autres. Mais le but de la science est de montrer que, derrière toutes ces apparences, il y a une profonde unité, portée par des lois qui régissent ces phénomènes. Donc, comprendre, c'est unifier. Expliquer, c'est faire une synthèse. Je reprends un exemple : dans l'ancienne mécanique, avec Kepler, il y avait 3 lois, apparemment indépendantes les unes des autres, concernant le mouvement des planètes. Et, ce qu'a montré Newton, c'est que les 3 grandes lois de Kepler n'étaient que des conséquences d'une loi unique qui est la fameuse loi de la mécanique :  $f = m c$ . Ensuite, avec cette mécanique de Newton, on n'a pas seulement étudié les lois de Kepler, mais ça a été à l'origine du développement foudroyant de toute la mécanique dont toute la technologie, autour de nous, constitue des applications. Donc, comprendre, c'est unifier, faire une synthèse.

De même, en ce qui concerne l'électricité et l'optique, qui étaient des chapitres différents et indépendants, au XVIII<sup>e</sup> et encore au début du XIX<sup>e</sup> siècle, Maxwell a montré que tout cela était régi par des équations communes, c'est à dire qu'il n'y avait pas de différence fondamentale entre l'électricité, le magnétisme et l'optique. C'est une des plus belles synthèses qui a été réalisée dans tous les siècles précédents.

Puisque comprendre, c'est unifier : que s'agissait-il d'unifier ? Précisément, d'une part, la particule et l'onde et par ailleurs, l'espace et le temps. A vrai dire, cette dernière unification, qui a été réalisée en premier, en 1905 par Einstein, n'était pas prévue, elle est venue, en plus. Ce qui était visé, c'était de rendre compte de cette unification. En effet, jusqu'ici, on considérait que les phénomènes lumineux étaient des vibrations. Or, quand on dit vibrations, il y a un support à ces vibrations, il y a quelque chose qui vibre ; donc on voulait un support matériel. C'est la raison pour laquelle on avait imaginé ce milieu qu'on a appelé « éther » électromagnétique qui était un milieu matériel, supposé être le support matériel de ces vibrations. De même que le son émet des ondes sonores qui se propagent dans un milieu matériel qui est constitué par les molécules d'air. Si, dans cette salle, il n'y avait pas d'air, si on y faisait le vide, vous ne pourriez pas m'entendre parce que les ondes sonores sont les vibrations des molécules d'air, donc, sans molécules, pas de vibrations. En revanche, vous me voyez. Donc, indépendamment des ondes sonores, des ondes acoustiques, il y a aussi des ondes électromagnétiques qui portent la lumière, de moi vers vous. On imaginait donc, à la fin du siècle précédent qu'il existait un autre support qui n'était pas constitué par des molécules d'air, mais un support matériel qui n'avait pas encore été identifié et qu'on appelait l'éther. Ce que nous a révélé la physique, à la suite de l'étude par Einstein de l'espace et du temps et qui a eu une répercussion en ce qui concerne le problème de l'onde, c'est qu'on s'est aperçu qu'il n'y avait pas d'éther, qu'il n'y avait pas de support matériel aux ondes électromagnétiques, et ça a été une révolution extrêmement importante. Pour la première fois, on découvrait qu'il pouvait exister quelque chose qui était les ondes électromagnétiques, sans qu'il y ait de matière. Tandis qu'auparavant, et depuis Démocrite, on pensait que rien n'existait que ce qui était matériel, du moins dans le domaine de la physique. La physique, pour la première fois était amenée à reconnaître qu'il peut exister quelque chose et qui donne lieu à des manifestations multiples et indiscutables, sans qu'il y ait de support matériel. Ce fut une révolution très importante et pas seulement du point de vue scientifique, mais également, à mon avis, sur un plan philosophique. Par ailleurs, il y avait le problème de la particule et de l'onde, et à partir du moment où il existait des ondes, on voulait un support matériel et, s'il y avait un support matériel, il devait être constitué de particules, puisque le triomphe de la théorie atomique avait montré que tout ce qui est matériel est porté par des particules. Le problème était donc de mettre en évidence cette structure matérielle de l'onde. Puisqu'il n'y avait pas d'éther, il y avait un problème en ce sens que le mariage entre la particule et l'onde (je dis mariage parce que je parle d'unification) n'avait pas été réalisé. Le gros problème qui est alors apparu, a été de savoir si, effectivement, il y a deux réalités distinctes, bien déterminées, bien séparées. Dans un premier temps on a cru, qu'il existait deux types de réalités : ondes et particules. Mais précisément, au début de ce siècle, on s'est aperçu qu'il n'en était rien. Je vous rappelle donc les deux explications possibles du point de vue conceptuel : le concept de particules qui est le concept du discontinu, parce que les particules sont bien séparées les unes des autres, ça se compte, c'est un problème d'arithmétique, et un autre concept, le concept d'ondes qui fait intervenir le continu. En effet, l'image simplement ondulatoire à la surface de l'eau, montre bien que ces ondulations peuvent être représentées d'une façon continue, par des courbes continues.

C'est toute l'histoire de la physique du début de ce siècle qui se trouve ainsi résumée. A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, il était clair que la matière était constituée de particules : Les atomes. C'est cette théorie atomique qui a été d'abord supposée par Démocrite cinq siècles avant notre ère et qui était simplement une hypothèse qui a mis 2500 ans à s'affirmer. Il paraissait donc très clair au début de ce siècle, vers 1900, que la matière était constituée par des corpuscules, les atomes. La matière appartenait donc au camp du discontinu.

En revanche, en ce qui concerne la lumière, toutes les expériences qui avaient été faites au cours du XIX<sup>e</sup> siècle étaient codifiées par les équations de Maxwell et laissaient croire que le rayonnement était constitué effectivement par des ondes. Vous voyez donc la séparation qui apparaissait à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle :

Matière = particules = discontinu

Rayonnement électromagnétique = ondes = continu

Il y avait donc un divorce entre ces deux aspects. Cela est très fâcheux en soi, mais précisément, on a constaté progressivement, que ce divorce n'existait pas lorsqu'on a étudié les phénomènes d'interaction entre la matière et la lumière. Que veut dire interaction, c'est lorsqu'il y a échange d'énergie. Par exemple lorsque la lumière du soleil tombe sur une plaque métallique, elle l'échauffe, donne de la chaleur, donc de l'énergie puisque la chaleur c'est l'agitation des atomes qui constituent la matière. C'est entièrement de l'énergie mécanique, les atomes sont mis en vibration du fait de l'énergie qui leur est apportée par le soleil. Donc, la lumière qui vient du soleil interagit avec la matière en lui fournissant de l'énergie. Inversement, il est clair que la matière peut faire l'inverse, c'est-à-dire, donner l'énergie à la lumière, se convertir en lumière, comme par exemple lorsqu'on chauffe le four du boulanger, si on regarde le fond du four, on voit bien qu'au fur et à mesure que sa température monte, il change de couleur et si on le chauffe vraiment très fort, il peut devenir blanc éblouissant. Nous savons donc que la matière, lorsqu'elle est chauffée, émet de la lumière. C'est exactement ce que fait le soleil qui émet de l'énergie lumineuse qui lui est fournie par la matière. Donc, les deux partenaires ne s'ignorent pas. Ils échangent de l'énergie, sans arrêt, ils interagissent. A partir du moment où il apparaissait nettement qu'il en était ainsi, on s'est bien rendu compte qu'on ne pouvait pas avoir deux théories complètement différentes pour l'un et pour l'autre, alors qu'en fait ces deux partenaires se connaissent très intimement. Il fallait donc étudier les échanges d'énergie, entre cette matière et ce rayonnement. C'est ce qui a été à l'origine de tous les bouleversements du début du siècle, que je vous ai rappelés.

Nous allons donc parler maintenant, plus spécifiquement de la lumière.

Dans l'histoire de l'humanité, c'est le premier élément qui est signalé. Si l'on prend tout d'abord comme exemple le texte fameux qui se trouve au début de Genèse où Dieu dit : qu'il y ait de la lumière ! Et il y eut de la lumière ; et Dieu dit que la lumière était bonne et il sépara la lumière des ténèbres, etc...

Après cette présentation poétique mais un peu simpliste de la lumière, on peut dire que depuis des milliers d'années, la lumière est pour nous quelque chose de très subtil, de très compliqué. Qu'était la lumière pour les Grecs anciens, pour les pré-socratiques, disons 4 à 500 ans avant notre ère. L'idée de tous les atomistes est de dire que toute la réalité est constituée par des atomes, c'est à dire de petites particules de différentes dimensions. Donc comment expliquer que nous voyons ? Parce que, pour les anciens, le problème n'est pas la lumière, ils n'imaginent pas tout de suite qu'il y a une réalité à la lumière, parce que ça ne se touche pas la lumière et, si on peut dire, ne se voit pas, elle permet de voir, mais elle-même ne se voit pas. Par conséquent, primitivement, le problème qui se posait aux Grecs était : Qu'est ce que voir ? Comment peut-on voir ? Qu'est ce qui se passe ? Comme on était habitué au fait que, par notre corps, nous touchons ; Que notre oreille est impressionnée par des sons, notre nez par des émanations, on pensait que pour voir, il fallait qu'il y ait quelque chose qui vienne vers le corps, qui touche le corps, d'une certaine manière. Par conséquent, comme on avait observé des phénomènes tels que, tout simplement le feu où on voit s'élever la fumée, on savait que, dans certaines circonstances, il y a des particules qui sortent des objets, plus ou moins spontanément. Ils avaient donc imaginé que les choses émettent en permanence des sortes de pellicules très fines ; et pour les odeurs, c'est d'ailleurs un peu ça, lorsque nous sentons des odeurs c'est qu'il y a des molécules qui viennent des objets vers notre nez. Donc pourquoi ne pas imaginer de la même manière qu'il y a aussi des émanations matérielles depuis les objets, qui nous permettent de les voir. Par ailleurs, il fallait aussi imaginer que lorsque ces émanations se rapprochent de l'œil, il se produit ce phénomène très étrange qui fait que, en se rapprochant, l'émanation se raccourcit et rentre dans l'œil. Cette théorie a été exprimée plus tard par Lucrèce dans son grand ouvrage « *De Natura Rerum* » où il appelait cela des simulacres. Autrement dit, voir, c'était recevoir des pellicules, sortes de modèles réduits des choses. Ceci peut paraître naïf mais il est intéressant de noter cette évolution de la pensée. Cette théorie a ensuite été remplacée par Euclide et aussi les pythagoriciens, pour lesquels : voir, c'est toucher. Mais toucher avec quoi ? Avec quelque chose

qui nous sortait de l'œil et qui allait toucher les objets. Il y a eu d'ailleurs des manifestations expérimentales qui semblaient justifier cela. Lorsqu'on dit que quelqu'un a les yeux brillants, on a le sentiment que, lorsqu'il nous regarde, d'une certaine manière, effectivement, il nous touche, pas par ses mains, mais par son regard. On pouvait donc imaginer qu'il y avait un feu intérieur dans notre tête qui faisait que ( nous n'en sommes pas encore à l'idée de rayon lumineux mais on s'en approche) nous pouvions ainsi toucher les objets. Lorsqu'on regarde un objet, ce n'est pas la lumière qui rentre dans notre œil, mais lui qui émet ce qu'on appelle aujourd'hui la lumière qui va toucher les différents points matériels qui constituent cet objet. Nous sommes ici dans une théorie de pythagoriciens qui croyaient que les choses étaient fabriquées par des points matériels. Par exemple, lorsque vous voyez une aiguille au sol, vous êtes obligé de vous concentrer pour voir ce petit détail et ne voir que l'aiguille. Cela semble impliquer que nous sommes capables effectivement d'émettre ce « toucher » à distance qui serait une sorte de toucher différent. Même Euclide avait repéré le fameux angle : l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, mais exactement en sens inverse. Aujourd'hui nous disons qu'il y a un angle d'incidence qui part de l'objet et rentre dans notre œil, mais les lois sont les mêmes tout en étant inversées. Cette théorie menait à de nombreuses difficultés, par exemple, pourquoi ne voit-on rien la nuit ? Si la vue est due à un feu intérieur, on ne voit pas pourquoi, la nuit, l'œil ne serait pas capable d'émettre ce toucher à distance. Il y a eu, à ce moment-là, une autre théorie due à Empédocle, contemporain à peu près de Platon, légèrement antérieur qui imaginait qu'il y avait deux rayons, l'un émis par l'œil et un autre émis par l'objet, qui se rencontrent. Selon la manière dont ils se rencontrent et suivant l'épaisseur de ces rayons, on pourrait voir ainsi les différentes couleurs. Aristote, élève de Platon, développe pour la première fois une idée intéressante : la lumière est une vibration du milieu, comme pour le son. Il existerait un milieu support qui ferait que la lumière est une vibration. Nous devenons alors très proche de quelque chose de relativement moderne. Il suffit de préciser que ce milieu, c'est l'éther. Il faut savoir que, pour Aristote, le vide n'existe pas. Signalons ensuite Galien qui a commencé en disséquant l'œil à repérer, pour la première fois, l'existence des nerfs entre l'œil et le cerveau. Mais ceci n'a pas donné lieu à des développements intéressants. Il convient également de citer les développements qui ont été faits par le monde arabe.

A la suite de tous ces développements de la connaissance du monde pré-socratique et socratique, relativement brusquement, la science antique s'est effondrée pour différentes raisons, probablement d'ailleurs par le fait que la Grèce a perdu sa liberté, occupée successivement par Philippe, par Alexandre puis par les Romains et l'expérience montre que tout peuple asservi perd ses facultés créatrices. Il n'y a donc plus un développement aussi important, mais il convient de signaler que ce qui s'est passé en Grèce entre le VI<sup>e</sup> et le IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère, est tout à fait prodigieux ; non pas tellement pour ce que les Grecs ont découvert, ce qui évidemment nous apparaît aujourd'hui naïf, encore que dans ces découvertes, il y a eu des choses sensationnelles, par exemple la géométrie euclidienne qui n'a subi aucune modification depuis Euclide ; C'est quelque chose qui a été créé et qui est quasiment moderne. Ce qui est extraordinaire c'est que les Grecs ont posé des questions, sans pouvoir y répondre, mais tellement profondes qu'encore aujourd'hui on n'y a pas répondu. Par ailleurs, ils ont émis des hypothèses, qui ensuite, ont alimenté toute la recherche ultérieure. Les Arabes ont fait ensuite des développements qui ne sont pas négligeables. Pour la première fois Alhazen (965/1039) en plein Moyen-âge, considère que la lumière a une existence propre et va de l'objet vers l'œil et pas l'inverse. Pourquoi ? Il constate, par exemple que si on fixe le soleil, on ressent une douleur. Si la lumière était émise par notre corps, on ne comprend pas pourquoi, dans certaines circonstances, elle créerait une douleur. On peut noter aussi une découverte très extraordinaire par Alhazen en ce qui concerne le mouvement de la lumière qui vient se réfléchir pour repartir avec un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence ; il décompose le mouvement de la lumière en un mouvement horizontal et un mouvement vertical et il explique que le mouvement horizontal ne doit pas être contrarié parce qu'il ne rencontre pas d'obstacle, tandis que le mouvement vertical est contrarié par le miroir et rebondit vers le haut ce qui explique ainsi la propriété de réflexion. C'est tout à fait

remarquable car, pour la première fois, on décompose un mouvement par la superposition des 2 mouvements. Il faudra attendre Galilée pour retrouver cette idée développée.

Mais qu'est-ce donc que la lumière ? Nous allons voir successivement des théories dans lesquelles on dira, d'abord : Ce sont des particules, puis : Ce sont des ondes. Nous verrons ensuite la réponse qui est proposée aujourd'hui.

Descartes et Newton ont pensé que la lumière était faite de particules. Descartes est connu pour avoir écrit « Les lois de la réflexion » lorsque la lumière se propage dans l'air et vient tomber sur un miroir ou sur l'eau. Lorsqu'il s'agit de l'eau, une partie de la lumière entre dans l'eau et une partie est réfléchi. Il y a donc réflexion et réfraction et les angles formés par le rayon initial et le rayon réfléchi ou le rayon transmis donnent cette fameuse loi qu'on appelle loi de Descartes  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ , où  $n_1$  est caractéristique du milieu du haut qu'on appelle son indice de réfraction, et  $n_2$  est caractéristique du 2<sup>o</sup> milieu et les angles  $i$  sont liés par cette loi. Ceci est quelque chose de très important en ce début du 17<sup>e</sup> siècle où il y a très peu de formules mathématiques. Les premières formules mathématiques ont été écrites d'abord par Kepler, ce sont les lois de Kepler (les lois des aires). Le fait de représenter les phénomènes physiques en leur donnant une structure mathématique est profondément moderne. Les premières formules mathématiques qui ont été écrites ont inspiré ensuite tout le développement de la science physique.

Descartes affirme que la propagation de cette lumière issue des rayons lumineux qui sont des petits projectiles, subtiles qui se déplacent comme des tourbillons qui frappent notre œil et nous donnent la sensation lumineuse, un peu comme nous sentons la chaleur. La lumière, dans ce cas est un mouvement de particules. L'indice caractéristique du milieu dépend de la couleur de la lumière qui traverse ce milieu. Par ailleurs, il considère également que la lumière qui tombe sur un miroir forme un rebond. Ce serait la grande explication de l'arc-en-ciel. La première explication avait en fait été fournie par Thierry de Freiberg, mais Descartes a nettement amélioré le raisonnement. (C'est Newton qui a ensuite découvert que le rayonnement venu du soleil était un mélange de différentes couleurs) Etant donné que les angles de réflexion et de réfraction, dépendent de l'indice, d'après cette loi de Descartes, l'indice lui-même dépendant de la couleur ou de la longueur d'onde, ça veut dire que nous n'allons pas voir nécessairement la même direction de 42°, elle va dépendre de la couleur. Par conséquent cela signifie que, la direction dans laquelle nous regardons, pour voir le maximum de lumière diffusée, va dépendre de la couleur. Pour l'arc-en-ciel, nous avons le rouge à l'extérieur et le violet à l'intérieur, ceci pour l'arc-en-ciel principal ; mais nous pouvons avoir un deuxième arc-en-ciel qui contient le premier, pour la raison suivante qu'il peut arriver, pour le rayon incident, que son histoire soit différente et qu'il suive différentes trajectoires. Donc, pour une longueur d'onde identique, l'angle sera vu dans une direction qui n'est plus de 42° mais bien plus grande. Ce qui fait, qu'à ce moment-là nous verrons un deuxième arc-en-ciel dans lequel le bleu et le violet seront à l'extérieur et le rouge à l'intérieur. C'était déjà une très belle explication qui donnait du crédit aux idées de Descartes, que d'être en mesure d'expliquer cet arc-en-ciel.

Vint ensuite la grande découverte de Newton ( né en 1642 ) la composition de la lumière, c'est à dire, l'origine des couleurs. Il a découvert très jeune (24/25 ans) toutes ces grandes idées, à la suite d'observations nombreuses. En 1666, il a fait une expérience très simple : il faisait entrer la lumière par la fenêtre en ayant ménagé une petite ouverture. En mettant un prisme derrière, il a constaté qu'à la sortie du prisme, il voyait différentes couleurs apparaître sur l'écran, avec une déviation maximum vers la lumière violette, et moindre vers le rouge. Il y avait donc un étalement des différentes couleurs. On avait déjà observé ce phénomène, mais on pensait que les différentes couleurs qui apparaissaient étaient créées par le matériau et que c'était l'interaction de la lumière blanche venant du soleil avec le verre, qui les créait. On pensait que les couleurs n'étaient pas préexistantes dans la lumière, que la lumière n'avait pas de couleurs et que les couleurs étaient créées par la matière traversée. Pour montrer qu'il en était autrement,

dans l'écran, il ménage une ouverture qui laisse passer une certaine couleur, par exemple le vert et ensuite, ce faisceau de couleur verte, il le fait tomber sur un deuxième prisme. Si la théorie ancienne était valable, en traversant cette matière, le vert devait à nouveau donner naissance à toutes les couleurs. Or, il n'en était rien, il n'y avait qu'un seul rayon qui était transmis conformément aux lois de la réfraction. Ceci indiquait bien que la lumière blanche était constituée par un ensemble de couleurs. Pour Newton, cette lumière est constituée de corpuscules qui sont des masses différentes et la couleur est due aux différentes masses de ces corpuscules, très petits qui sont soumis à des forces, arrachés à la matière par la chaleur et qui se propagent à une vitesse de 300.000 km par seconde. Cette vitesse de la lumière a été mesurée par Roemer en 1676 par l'observation des satellites de Jupiter. Pour Descartes, la lumière avait une vitesse infinie, donc impossible à mesurer.

Galilée lui, a suspecté que la lumière avait une vitesse finie et il s'est livré à différentes expériences qui aujourd'hui nous font sourire, à l'aide de lanternes du haut des différentes collines de Rome, sans résultat bien entendu. Mais ceci nous montre les difficultés expérimentales du temps et nous devons reconnaître le mérite immense de ces premiers scientifiques qui, avec des moyens expérimentaux absolument rudimentaires ont pu accéder à des connaissances qui ne sont pas négligeables. Un autre exemple, en ce qui concerne la géométrie euclidienne, la géométrie de l'espace : la somme des angles d'un triangle est égale à 2 droits. Ceci est considéré comme une vérité indiscutable apprise encore de nos jours. Ce n'est qu'après la découverte de la relativité générale qu'a été utilisée une géométrie non euclidienne, ce qui révèle que la géométrie est une construction de l'esprit qui n'est pas fixée une fois pour toute. Parce qu'il était très prudent, Newton a mis ensuite un temps fou avant de publier ses découvertes. Il détestait la chicane et, comme chaque fois qu'il annonçait des idées nouvelles, il avait évidemment des objections et, souvent ceci l'empêchait de publier. Heureusement, ce sont des amis qui avaient connaissance de ce qu'il avait trouvé, qui le poussaient à publier, ce qu'il n'aurait peut-être pas fait. Il a fallu beaucoup insister pour que Newton publie ses « Principes mathématiques de la philosophie naturelle » qui sont vraiment le fondement de la mécanique classique.

Venons-en maintenant aux expériences de Huygens (1629/1695), Young (1773/1829) et Fresnel (1688/1827).

Supposons que nous faisons passer des particules lumineuses au travers de deux fentes derrière lesquelles se trouve une plaque photographique. Nous constatons que, si on place un observateur qui va observer sur la plaque photographique, le point d'impact des particules, chaque fois qu'une particule tombe sur la plaque, il va interroger les détectives qui eux sont derrière chaque fente et leur demander : L'avez-vous vue ? Et à chaque fois, l'un ou l'autre répondra oui, mais jamais les deux. Nous gardons donc le caractère corpusculaire. Il n'y a pas la moitié d'une particule qui peut passer par une fente et la seconde moitié par l'autre. La particule passe indifféremment par l'une ou par l'autre. Et la particule tombera toujours sur la médiatrice de la distance entre les deux fentes. Cela devient totalement incompréhensible. Comment des particules dont nous savons par l'observation qu'elles passent par l'une ou par l'autre fente, peuvent-elles se comporter comme si elles avaient la connaissance de la distance qui sépare les fentes pour le calcul nécessaire pour tomber sur la médiatrice ? Si on fait l'expérience, on observe bien par où ça passe, mais à ce moment-là, chose qui n'était pas prévue, il n'y a plus d'interférence. Le fait d'avoir déterminé par où la particule est passée fait que, maintenant on constate bien que les particules sont détectées dans le prolongement de l'une ou l'autre fente, ce qui est logique puisque maintenant, nous savons par où elles passent. Du fait même que nous avons déterminé une partie de leur trajectoire, nous avons fait disparaître le phénomène physique d'interférence. Le phénomène d'interférence est incompatible, expérimentalement avec la détermination du chemin suivi par la particule. Ceci veut dire que la lumière n'accepte pas qu'on puisse déterminer le chemin qu'elle suit et en même temps réaliser le phénomène d'interférence. Le fait de déterminer un des points de la trajectoire éventuelle a pour effet de faire disparaître le phénomène. La conclusion est qu'on sera obligé d'admettre que lorsque le phénomène se produit

avec interférence, la particule ne suit aucun chemin. Dans ce monde microscopique de l'on commence à étudier, les particules n'ont plus de chemin. Il s'agit là d'un renversement de la théorie classique dans ses fondements les plus grands, parce que depuis Newton, tout cours de mécanique commence à l'école, au lycée et à l'université en première année en disant : toute particule a une trajectoire, il faut bien qu'elle ait une trajectoire pour qu'ensuite on puisse parler de sa vitesse et de son accélération de telle manière qu'on puisse appliquer la formule de Newton. Nous arrivons maintenant à une physique où il n'y a plus de trajectoire. S'il n'y a plus de trajectoire, il ne peut plus y avoir de vitesse tangente à la trajectoire.

S'il n'y a plus de vitesse, on ne peut pas prendre la dérivée de la vitesse pour faire une accélération. Et il n'y a plus de force non plus ! Le concept de force a également disparu, c'est à dire que tous les fondements de la mécanique classique se sont évaporés. Nous allons être obligés de construire une toute nouvelle mécanique, qu'on appelle la mécanique quantique, d'une façon tout à fait différente de la mécanique classique. C'est vraiment un renversement complet. On ne change pas la formule de Newton, c'est le concept même qui doit être abandonné. Ce résultat est dans le prolongement du développement de la science parce que, du temps des Grecs, on attribuait aux objets des qualités telles que le sec, le chaud, le froid, le sucré etc. c'est à dire toutes les propriétés que nous observons à notre échelle macroscopique, ils les donnaient aux objets microscopiques et cela paraît normal. Que pouvait être une particule qui n'avait pas de couleur : tout objet a nécessairement une couleur, s'il n'a aucune couleur, ce n'est pas un objet. Aristote gardait ces concepts familiers et les attribuait au monde microscopique comme s'il était un modèle réduit du monde macroscopique. Cette idée est encore développée dans les Pensées de Pascal qui spéculait sur le fait qu'il s'agit d'un monde semblable au nôtre mais plus petit. Pourtant, avec Galilée déjà, ce point de vue avait été abandonné. Il avait considéré que c'était nous qui donnions toutes ces qualités que nous attribuons aux choses, mais qu'elles ne sont pas dans les choses, que ce sont des qualités subjectives. De même que tout ce qui est beau ou laid n'est valable que pour un être intelligent, il n'y a pas de beauté ni de laid au niveau microscopique, et il n'y a pas non plus que qualités (sucré, salé, chaud, froid, couleur, etc.) pour un électron, mais, au moins Newton, dans le prolongement de Galilée avait bien évacué toutes ces qualités dites subjectives, simplement créées par notre cerveau, mais avait gardé une chose fondamentale, la localisation dans l'espace.

Pour Descartes, la réalité, la matière, c'est l'étendue. Pour Newton, c'était davantage la masse qui caractérisait les particules de matière ; mais, pour l'un comme pour l'autre, ce qui était fondamental c'est que tout objet est quelque part, il est à chaque instant quelque part et ceci veut dire que cet objet microscopique a nécessairement une trajectoire. Maintenant la physique quantique fait tomber l'image de trajectoire. Ça veut donc dire que les particules ont été totalement dépouillées de leurs qualités ; c'était d'ailleurs dans le prolongement de la pensée initiale de l'atomisme qui était énoncée par Démocrite lorsqu'il écrit 4 siècles avant notre ère : illusion que le rouge, illusion que l'amer, illusion que le sucré, rien n'existe que les atomes et l'espace vide. C'est l'école du matérialisme pur et dur du départ. Pour Démocrite déjà, les atomes étaient dépouillés de toutes ces qualités sensibles. Ce dépouillement a été confirmé par la théorie classique de Galilée et Newton, mais ce dépouillement va très loin maintenant, c'est l'objet lui-même qui est dépouillé de ses caractéristiques d'être localisé quelque part. C'est une révolution tout à fait extraordinaire. Mais alors, qu'est donc la lumière ? Des particules ou des ondes ? Nous avons vu qu'avec Descartes, Newton et encore Einstein, ce sont des particules. Pour les 2 premiers, c'était déjà des particules et Einstein a ramené l'idée de particule qui est le Photon de lumière. Par contre, une autre idée défendue par Huygens, Young et Fresnel, est que la lumière est des ondes. Il y avait donc un aspect corpusculaire et un aspect ondulatoire et les deux coexistaient ou s'opposaient. Donc les particules sont associées à des ondes, l'énergie du photon est associée à la fréquence des ondes ; les deux images coexistent, et la relation entre ces deux aspects est la constante de Planck. Tout ceci pour dire que la lumière est un très grand carrefour de la physique, elle est fondamentale dans toute la physique, elle a réuni et en même temps conservé, toutes les grandes théories : la relativité restreinte et la mécanique quantique. La

relativité restreinte parce que cette fameuse constante, caractéristique de la relativité restreinte, est la vitesse de la lumière qui est un invariant universel qui a la même mesure dans tous les référentiels galiléens : c'est la constante  $C$ , vitesse de la lumière 300.000 Km/seconde. C'est elle qui a réuni l'espace et le temps, le mariage de l'espace et du temps qui a été réalisé par Einstein dans ce qu'on appelle « l'espace-temps ». Cette relation a été réalisée grâce à cette constante universelle  $C$ . Par ailleurs, une autre grande constante universelle a été découverte par Planck au début du siècle, la « constante de Planck » qui réunit l'aspect corpusculaire et ondulatoire de la lumière. C'est ici que tous les aspects de la physique se réunissent à propos de la lumière. Donc maintenant, qu'est-ce que c'est que la lumière ? Ce qui est arrivé maintenant avec la mécanique quantique, c'est que ces deux images, corpusculaire et ondulatoire, sont toutes les deux inexactes, ce n'est ni l'un ni l'autre... Pourquoi ce ne sont pas des corpuscules ? Ça ne peut pas être des corpuscules puisqu'ils n'ont pas de trajectoire. Que peut être un corpuscule qui ne serait pas localisé ? on emploie le mot mais ça n'a plus rien à voir avec corpuscule. Ce n'est pas non plus une onde parce que les ondes sont les vibrations d'un support qui ne se propagent qu'à l'aide de ce support ; mais il n'y a pas de support, il n'y a pas d'éther, donc il ne peut pas y avoir d'ondes.

Nous devons accéder maintenant à des représentations beaucoup plus abstraites, celles de la mécanique quantique et de la théorie des champs. Et effectivement on s'aperçoit que, pour comprendre la nature, il faut s'adapter à elle ; c'est elle qui nous apprend le langage qu'elle parle, il ne faut pas lui imposer des idées a priori, c'est elle qui nous oblige à remettre en cause sans arrêt nos idées et nous oblige à utiliser de nouveaux concepts et une nouvelle façon de comprendre. Comme le disait Heisenberg, ce que nous a appris le développement de la physique, c'est que l'essentiel n'est pas d'augmenter notre savoir, mais de comprendre autrement. L'intelligibilité elle-même, nos méthodes pour comprendre doivent changer, notre façon de penser doit changer et la nature est notre instructeur. Ceci est vraiment une idée très importante et on n'a jamais fini de comprendre la nature parce que nous sommes un élément modeste et insignifiant pour la nature, qui nous déborde de partout ; Nous essayons de la comprendre par morceaux et nous y parvenons extrêmement difficilement et il n'est même pas sûr que nous finirons par y parvenir. J'aime beaucoup cette leçon d'humilité qui est celle des très grands découvreurs. Terminons maintenant par deux citations significatives ; la première est due à Einstein qui écrit dans une lettre à son ami Michelangelo Bosso en 1951, quatre ans avant sa mort « *cinquante années de spéculations ne m'ont pas rapproché de la réponse à la question : que sont les photons ? Il est vrai qu'aujourd'hui, n'importe qui croit le savoir, mais il se trompe* » Et on ne peut toujours pas répondre. C'est un peu décevant, mais cette quête de l'approfondissement de la nature des choses est absolument passionnante. La nature est prodigieuse. L'autre citation, plus ancienne, est celle du grand Newton qui écrivait « *je ne sais pas ce qu'il en semble au monde, mais quant à moi, il me semble que je n'ai été qu'un garçon jouant sur la plage et me divertissant de temps à autre en découvrant un galet mieux poli ou un coquillage plus beau que d'ordinaire, alors que le grand océan de la vérité s'étendait devant moi, dans la totalité de son mystère* » Des citations comme celles-là montrent ce que doit être un véritable scientifique, qui alimente ses connaissances et surtout, change sa façon de penser. On ne peut qu'être rempli d'admiration par cette humilité des très grands découvreurs.

**Conférence de Michel LAMBERT  
enregistrée et mise sur papier par  
Juliette BREMOND**

	A	B	C	D	E	F	G	H
I		■						
II					■	■		
III		■					■	
IV				■				
V			■					
VI	■	■			■			■
VII								
VIII							■	

## Mots Croisés Astronomiques

### Horizontal

- I : Mouvement apparent des astres.  
 II : Groupes d'étoiles. Prénom épilé.  
 III : Entoure Jupiter.  
 IV : Galaxie selon Kant. Diagramme célèbre.  
 V : Fit poser Tintin sur la Lune. On y apprend beaucoup sur le ciel.  
 VI : Variable. Article.  
 VII : Les particules le sont dans la haute atmosphère.  
 VIII : Le Bouvier les garde.

### Vertical

- A : opposé du Zénith. Grosse "pizza" céleste !  
 B : Dans longitude. Conjonction bien terrestre !  
 C : Donnée par le calendrier. Dans rainure.  
 D : Echelle de sensibilité. Comme le sol lunaire.  
 E : Début d'un satellite de Saturne.  
 F : Certains cratères lunaires l'ont été par la lave.  
 G : Pendant une éclipse. Une dette l'est toujours.  
 H : Repasse tous les 3 ans. 1987 A.

**Christophe GROS**

## NOTES DE LECTURE

**L'expérience Eros. Recherche de matière noire galactique sous forme d'objets compacts** (T. Lasserre ; L'Astronomie janvier 2000).

- Depuis le début des années 1930 on sait qu'une bonne partie de la matière échappe aux observations ; on l'appelle matière noire ou matière cachée. Dans l'Univers, la matière noire est majoritairement non baryonique (la matière ordinaire est formée de baryons comme les neutrons et les protons) mais on pense qu'il existe au moins trois fois plus de baryons invisibles que de baryons visibles. L'article traite de la recherche de cette matière noire baryonique au voisinage de la Galaxie. On estime que cette matière existe sous la forme d'objets compacts, baptisés MACHOs et se trouvant dans le halo de notre Galaxie. On a recherché ces MACHOs en tentant d'utiliser l'effet de lentille gravitationnelle qu'ils doivent produire sur la lumière provenant des étoiles appartenant aux deux galaxies très proches que sont les Nuages de Magellan. L'article explique quelles techniques ont employé les astronomes qui ont fait ce long et minutieux travail qui a abouti à la découverte d'un certain nombre de candidats susceptibles d'être des MACHOs. En sont-ils vraiment ? Et, si oui, que sont-ils exactement ? Ce sont là des questions auxquelles on ne peut pas, pour l'instant, donner de réponses définitives et précises.

**A la recherche des planètes extra-solaires** (M. Mayor, G. Oudenot ; L'Astronomie janvier 2000) .

- Cet article a en commun avec le précédent de traiter d'un sujet très à la mode. Pour la théorie de la formation des étoiles, il est normal qu'il y ait un disque de matière autour des

étoiles et il est naturel que des planètes naissent dans un tel disque. La différence de luminosité entre l'étoile et les planètes est si grande qu'on ne peut absolument pas, à l'heure actuelle, espérer observer directement de telles planètes. Une étoile pourvue d'une planète géante a son mouvement par rapport aux autres étoiles perturbé puisque l'étoile et la planète décrivent des orbites autour de leur centre de gravité commun. A l'heure actuelle il n'est pas possible de détecter les oscillations que cette perturbation induit sur le mouvement propre de l'étoile. Mais cette perturbation provoque aussi une variation périodique de la vitesse radiale et l'on dispose de spectrographes suffisamment précis pour mesurer cette variation. On a ainsi découvert une trentaine de planètes géantes autour d'étoiles proches. La théorie prévoyait des périodes de l'ordre de dix ans, des orbites presque circulaires et des masses inférieures à celle de Jupiter. Les planètes découvertes ont des périodes beaucoup plus courtes, des orbites souvent excentriques et une bonne partie d'entre elles ont une masse bien supérieure à celle de Jupiter. L'article montre comment on peut expliquer ce désaccord avec les prévisions. Il se termine sur les perspectives d'avenir en matière de recherche des planètes extra-solaires.

### **Les Quasars** (Daniel KUNTH, Collection Dominos, Editions Flammarion)

Les plus anciens d'entre nous se rappellent sûrement avoir dévoré, dans les années 1970, le "Que sais-je ?" de P. Véron sur les quasars (ouvrage réédité depuis cette époque). C'était le premier ouvrage de vulgarisation en langue française traitant de ce sujet alors tout neuf puisque les premiers quasars avaient été découverts fin 1962 - début 1963. Les livres de la collection Dominos ressemblent un peu aux "Que sais-je ?" par leur petit format (environ 10 cm x 16 cm) ; environ 130 pages). Celui de D. Kunth est tout récent (1998).

La première partie retrace longuement l'histoire de la découverte des premiers quasars et évoque les problèmes que suscita l'allure insolite de leur spectre. Ensuite l'ouvrage parle des découvertes ultérieures (on connaît aujourd'hui une dizaine de milliers de quasars) et il nous explique ce que leur spectre nous apprend d'eux. Certains lecteurs seront peut-être agacés que beaucoup de notions bien connues (raies d'émission, raies d'absorption, effet Doppler, loi de Hubble, etc) soient définies en détail mais cela plaira sûrement à ceux qui sont venus à l'astronomie depuis peu. Il faut ensuite expliquer comment les spécialistes se représentent ces astres à la fois extrêmement lointains (distances de l'ordre de plusieurs milliards d'années-lumière), extraordinairement lumineux (plusieurs milliers de fois comme une grosse galaxie) et tout petit (taille comparable à celle de notre Système Solaire). L'auteur décrit le modèle, devenu classique, du disque de matière en accretion autour d'un trou noir et transformant en rayonnement son énergie gravitationnelle lorsqu'il chute en spiralant sur le trou noir. Depuis peu on a détecté autour de certains quasars la galaxie qui les héberge. On est actuellement persuadé que les quasars, les radiogalaxies, les galaxies de Seyfert et les blazars sont tous des galaxies à noyau actif vues sous des angles différents.

La seconde partie de l'ouvrage, intitulée Des quasars et des hommes, relate les controverses qui ont surgi, au début, au sujet de la distance des quasars : leur très grand décalage vers le rouge est-il vraiment dû à la loi de Hubble ? Par la suite, des arguments sont venus fermer à peu près le débat. Dans un autre chapitre, l'auteur développe le modèle concurrent de celui du trou noir : le modèle de la flambée d'étoiles (autrement dit de la formation rapide d'une très grande quantité d'étoiles au centre d'une galaxie) avec pour corollaire, l'explosion d'un grand nombre de supernovae. Il fait la liste des arguments pour et contre de chacun de ces deux modèles.

En résumé, ce petit livre d'une lecture attrayante et facile, émaillé de citations et de pointes d'humour, au courant des dernières découvertes en la matière, a sa place dans la bibliothèque de tout amateur d'astronomie. Ajoutons que son prix est fort modique et qu'il existe d'autres livres de cette collection Dominos consacrés à des sujets astronomiques dont nous parlerons une autre fois.

**Daniel SONDAZ**

# Les origines de Greenwich

## 1 - La Cruciale recherche pour la Longitude

L'histoire de l'Observatoire de Greenwich commence non pas avec les étoiles, mais avec la mer et avec le plus important problème auquel devaient faire face toutes les grandes nations maritimes du 17<sup>e</sup> siècle.

Un des grands casse-tête, à travers les âges, pour les scientifiques, fut :

Comment mesurer exactement la Terre et comment établir un système permettant de situer exactement villes et villages à sa surface ? Les anciens Grecs découvrirent très tôt qu'en mesurant le mouvement apparent du Soleil et des étoiles (la science de l'astronomie) ils pouvaient grossièrement déterminer la dimension de la Terre et établir quelques coordonnées de surface par rapport à l'Equateur terrestre. Ces coordonnées, Nord et Sud, furent nommés latitude.

Il apparut bientôt clairement, cependant, qu'il était beaucoup plus difficile de déterminer les coordonnées Est / Ouest car il n'existait pas de point fixe à partir duquel on pouvait commencer les mesures. Les anciennes civilisations déterminèrent une série de "Points zéro" arbitraires à partir de points de repères importants ou de grandes villes à partir desquelles elles calculaient une longitude. Mais finalement trouver la longitude sur terre ne pouvait se faire que par arpentage des distances. Il ne semblait y avoir aucun moyen scientifique permettant de calculer la longitude autrement.

Le problème du calcul de la longitude devint particulièrement sérieux à partir du 15<sup>e</sup> siècle lorsque les explorateurs à la recherche de nouvelles terres commencèrent à s'élancer en grands nombres sur les océans.

C'était une chose de connaître la longitude en voyageant sur terre ; mais personne n'était capable de calculer la longitude en mer et les marins faisaient souvent voile sans savoir à quelle distance Est ou Ouest ils étaient de la côte. Utilisant une méthode "d'évaluation des risques", les marins pouvaient faire une estimation de leur position en évaluant la vitesse de leur bateau et la direction du vent, mais les nuits nuageuses ou des tempêtes soudaines en mer se terminaient souvent en naufrages et en tragédies.

## **PRENDRE UNE DISTANCE LUNAIRE**

Un moyen de connaître le temps en mer est de comparer la position de la Lune par rapport à certaines étoiles brillantes dans le ciel de nuit. Depuis 1767 les navigateurs peuvent utiliser le *Nautical Almanach*, qui donne les coordonnées de la Lune et des étoiles, les situant par rapport au temps local à Greenwich. Jusqu'à la publication du *Nautical Almanach* cependant, les marins n'avaient aucun moyen de connaître à quelle distance Est ou Ouest ils se trouvaient de chez eux. Un marin tel que Christophe Colomb, même s'il professait être expert en navigation astronomique, comptait beaucoup plus sur sa connaissance personnelle de la mer, l'aspect de la houle, le degré de salinité de l'eau, la présence d'épaves ou de restes humains flottants et la nature d'échantillons prélevés en surface toutes choses qui l'aidaient à deviner l'approche de la côte.

## **LONGITUDE ET LATITUDE**

*Longitude et latitude sont toutes deux mesurées en fractions d'un cercle de 360° soit en degrés(°), minutes('), secondes(''). Comme La Terre fait une révolution complète (360°) chaque 24 heures les segments de cette révolution circulaire peuvent être divisés en portions de temps. 360° égale 24 heures, 180° égale 12 heures, 15° égale 1 heure et 1° égale 4 minutes de temps.*

*Si vous connaissez la différence en temps local entre deux lieux différents, vous connaîtrez leur différence en longitude. Si un navigateur constate qu'il est à trois heures de Greenwich, il est aussi à 45° Est ou Ouest de Greenwich. Le problème auquel furent confrontés les navigateurs au 18<sup>e</sup> siècle était comment connaître l'heure en deux lieux différents sans horloge capable de garder un temps précis pendant le voyage sur un bateau !*

## **2 - Fondation de l'Observatoire**

*Lorsque Charles II, Roi d'Angleterre, fut informé de ces événements il proclama que ce travail devait être une réalisation royale. Il n'espérait certainement pas que ses armateurs et ses marins puissent se dispenser de l'aide que le Ciel pourrait leur apporter pour que la navigation soit plus sûre.*

*(John Flamsteed. Historia coelestis britannica. 1725)*

La découverte du Nouveau Monde et de nouvelles voies commerciales vers les richesses de l'Orient entraîna un certain nombre de petits pays maritimes vers la recherche de richesses et de territoires.

La lourde dépendance entre les voyages maritimes et l'importance des richesses et des bateaux retenus en otage par la mer firent que trouver une réponse au problème de la Longitude devenait une priorité internationale. Non seulement chaque nation désirait trouver la solution, mais il était aussi hors de doute qu'une richesse sans pareil attendait le pays qui trouverait la solution le premier.

En 1674, le Roi Charles II fut convaincu qu'il pouvait y avoir une solution Astronomique au Problème de la Longitude. Louise de Kéroualle, Duchesse de Portsmouth, fit la connaissance d'un Français, un certain Sieur de St Pierre, qui affirmait que l'on pourrait tracer le trajet de la Lune au travers des étoiles et utiliser le Ciel comme une énorme horloge pour calculer la Longitude.

Charles II demanda à quatre des conseillers en lesquels il avait le plus confiance, si effectivement ce projet était digne de confiance.

Ceux-ci à leur tour demandèrent son avis à l'éminent astronome John Flamsteed, celui-ci répondit que les propositions du Sieur St Pierre étaient ridicules vis à vis de l'état actuel des connaissances astronomiques nécessaires : la carte des étoiles était très imprécise, il n'existait aucune table valable de la Lune et il n'existait certainement aucun diagramme pour déterminer le mouvement de la Lune dans la sphère des étoiles fixes.

En réponse, Charles II décida que la seule possibilité de progresser sur ce sujet était de fonder un Observatoire et engageât sur-le-champ Flamsteed comme premier Astronome Royal. Ses obligations seraient de s'appliquer personnellement avec le maximum de sérieux et de diligence à rectifier les tables des mouvements célestes et la position des étoiles fixes de façon à ce que l'on puisse mettre cette longitude tant désirée à sa place pour perfectionner l'art de la navigation.

## **3 - La construction de Flamsteed House**

*« ...nous avons décidé de construire un petit observatoire dans notre parc à Greenwich, sur la partie la plus haute... »*

*(Ordonnance Royale, 22 juin 1675)*

Charles II ordonna à Sir Jonas Moore, Inspecteur Général du Matériel, de commencer la construction de cet Observatoire Royal. La première pierre fut posée à 3h 14 de l'après-midi le 10 août 1675. Pour convenir aux superstitions de l'époque, Flamsteed lui-même établit un horoscope pour le succès futur de l'Observatoire. Cependant l'inscription sur ce dessin nous apprend que ni Flamsteed ni ses collègues ne croyaient aux sciences occultes. Le texte dit « Voulez-vous ne pas rire mes amis ? ».

La partie principale du nouvel Observatoire fut dessinée par Sir Christopher Wren, lui-même étant professeur d'Astronomie.

A l'origine, l'Observatoire se composait de trois niveaux : un sous-sol contenant une petite cuisine, avec une petite buanderie et un atelier attenant ; le rez-de-chaussée avec quatre pièces principales : halls de réception, bureau, chambre et salle à manger ; et couronnant orgueilleusement le bâtiment, 'La Salle des Etoiles' octogonale. Comme le rappelle Wren dans une de ses dernières lettres, le bâtiment était prévu pour le logement des Observateurs... et un peu pour «la Pompe ».

Entre autres ordres Charles II rappelle que le bâtiment terminé ne devra pas coûter à la Couronne plus de 500£. Le travail lui-même fut financé par la vente de vieux stocks de poudre à canon avariée. La plus grande partie des briques provint du fort de Tilbury et une partie des bois, ferrailles et plomberies furent prélevés sur la démolition récente d'une loge de la Tour de Londres.

L'extérieur fut fini pour Noël 1675 et Flamsteed avec deux assistants s'y installa le 10 juillet 1676. Le coût total pour la Couronne fut de 520£ 9s 1d.

## **La SALLE OCTOGONALE**

Les hautes fenêtres de la Grande Salle des Etoiles ou la Salle Octogonale, comme elle est appelée aujourd'hui, furent dessinées pour s'accommoder des longues lunettes utilisées au 17<sup>e</sup> siècle. Tous ces télescopes (ces lunettes) travaillaient en réfractant ou en déviant la lumière. Plus grande était la distance entre l'objectif et le foyer de la lentille, plus on augmentait le grossissement des objets à étudier.

Un autre instrument clef utilisé par les astronomes était le quadrant. La division en degrés était gravée sur un quart de cercle en laiton et l'aide d'un réticule ou d'une lunette de visée permettait aux astronomes de mesurer l'altitude ou hauteur d'un corps céleste. Du large panorama du ciel permis par le plan de Wren pour la Salle Octogonale il découlait que l'Observatoire était parfaitement situé pour l'observation d'événements célestes tels qu'éclipses, comètes, et mouvement des planètes. Néanmoins, la caractéristique principale de la Salle Octogonale est la paire de pendules à marche annuelle construites pour Flamsteed par Thomas Tompion en 1676. Avant que Flamsteed puisse commencer son grand travail de cartographie des étoiles, il avait besoin de démontrer que la Terre tournait à une vitesse constante, donc il désirait avoir un étalon constant pour la base de ses mesures. La pendule à balancier récemment inventée fournit le premier outil fiable qui permit de vérifier la rotation de la Terre.

Pour satisfaire au standard de précision demandé Tompion conçut un très long pendule de 13 pieds (3.96 mètres) pour chacune des horloges. Il avait déduit que seul un pendule très long parcourant un arc de cercle le plus réduit possible permettrait une mesure du temps suffisamment précise. Les pendules battaient toutes les deux secondes et ne nécessitaient qu'un remontage par an.

Durant l'été 1676, Flamsteed démontra, dans les limites que lui permettait la technologie à sa disposition, que la Terre en effet tournait à une vitesse constante. A partir de son observation il établit la formule de «l'Equation du Temps » qui établit la relation des écarts entre le temps moyen et le temps solaire. On ne fit pas mieux jusqu'à l'invention des mouvements pilotés par quartz, dans les années 1930, qui permirent de découvrir de vraies irrégularités dans la rotation terrestre.

## **4 - Le premier Méridien de Greenwich**

“ Il aurait été préférable que nos murs soient orientés plus au sud mais, pour éviter des frais, ils furent néanmoins construits contre les vieux qui avaient un écart de quelques 13 degrés ½ par rapport au bon méridien. ” (John Flamsteed, 1676).

Le travail de Flamsteed était de dresser une carte du Ciel suffisamment précise pour être utile à la navigation astronomique. La méthode pour cartographier les étoiles (la base de l’astronomie de position) consiste à placer un instrument de visé ou une lunette parcourant un méridien ou ligne nord-sud.

Comme les étoiles paraissent tourner au-dessus de la tête de l’astronome, celui ci peut mesurer la position de chaque étoile le long de son méridien, et en s’aidant d’un garde temps il peut mesurer avec précision les intervalles en rotation de la Terre. En comparant des milliers d’observations faites à partir d’un même méridien, il est possible d’établir une carte précise du ciel de nuit. Malheureusement, du fait que l’Observatoire de Wren fut construit sur les fondations d’une ancienne tour, il n’était pas orienté correctement, et pointait un peu vers l’ouest.

Pour son but de cartographier les étoiles, la Salle Octogonale de Wren était inutilisable. Dépité, Flamsteed installa son poste d’observation dans un petit hangar au fond de son jardin. Pendant les quarante trois années suivantes, Flamsteed travailla dans son observatoire, exposé à l’air froid de la nuit avec les panneaux du toit ouverts, mesurant le transit des étoiles au-dessus de sa tête. Ce petit bâtiment, abritant le sextant astronomique de Flamsteed de 7 pieds (2133 mm) et son arc mural de 7 pieds, devint le fondement du reste de l’Observatoire. Lorsque Edmund Halley fut nommé Astronome Royale en 1720, il observa que le mur de briques du méridien de Flamsteed commençait à s’affaisser sur la colline du Parc Royal. Halley proposa de construire un nouveau mur méridien, mais placé un peu plus à l’est, sur lequel il comptait placer deux nouveaux quadrants astronomiques.

. Ce déplacement servit de modèle pour les agrandissements et extensions futures de l’Observatoire.

. Chaque fois qu’un instrument nouveau ou plus précis s’avérait nécessaire, il était ajouté une nouvelle pièce à la structure existante ; toujours en ligne avec le méridien d’origine mais chaque fois un peu plus à l’est.

En partant à l’est du méridien original de Flamsteed on rencontre trois autres lignes méridiennes : celle de Halley, Bradley et Airy. Le dernier de ceux-ci fut reconnu en 1884 comme le Méridien Origine du Monde.

## **5 - Le Méridien de Bradley et la carte d’état-major**

James Bradley, le 3<sup>e</sup> Astronome Royal, fut reconnu comme historiquement un des observateurs les plus précis. Son habileté le conduisit à faire deux découvertes très importantes en astronomie. Il fut le premier astronome à démontrer que si la position des étoiles paraît changer au cours de l’année, c’est parce que la Terre elle-même tourne autour du Soleil. Cette célèbre découverte de ‘l’Aberration de la Lumière’ et de la ‘Constante de l’Aberration’ fit gravir un nouvel échelon dans la précision des observations célestes.

Bradley nota également que l’étoile *gamma draconis*, qui était souvent observée par les astronomes de Greenwich parce qu’elle passe directement au zénith de l’Observatoire, semblait changer de position dans le ciel, jusqu’à 1” d’arc en 3 jours donc loin de ce qui est dû à l’aberration de la lumière.

Après de nombreuses recherches, Bradley réalisa que le changement apparent de *gamma draconis* était en fait le résultat de l’oscillation de la Terre sur son axe sous l’effet de l’attraction gravitationnelle de la Lune et que ce mouvement, connu sous le nom de ‘nutation’, effectuait un cycle complet toutes les 19 années.

En 1749, Bradley reçut de l’argent de l’Etat-major pour la construction d’un nouvel Observatoire adjacent à la Salle Carrée de Halley. Il y installa sa principale lunette, un instrument

de transit (Lunette de passage) de 8 pieds (2m44) dû au célèbre fabricant d'instruments John Bird. Lorsque Français et Anglais commencèrent leur grand projet commun pour mesurer la distance entre les Observatoires de Paris et de Greenwich, les géographes utilisèrent le méridien déterminé par la nouvelle lunette de Bradley comme le «méridien de Greenwich » officiel.

Le méridien de Bradley fut également utilisé comme Longitude 0° pour la première carte d'Etat-Major, celle du Comté de Kent publiée le 1<sup>e</sup> janvier 1801. Il restât le Premier Méridien Officiel de l'Angleterre jusqu'en 1850, lorsque le 7<sup>e</sup> Astronome Royal, Sir George Biddell Airy, décida d'installer un nouveau Cercle de Passage dans la salle voisinant l'instrument de Bradley. Jusqu'à aujourd'hui néanmoins toutes les cartes faites par l'Etat-Major utilisent toujours le Méridien de Bradley pour leur «longitude 0° ».

## **6 - Une "récompense publique"**

Indifférents aux progrès qui se faisaient à Greenwich pour trouver une solution au problème de la Longitude, une série de désastres maritimes incitèrent le Gouvernement Britannique à trouver d'autres moyens pour accélérer cette découverte. La plus grave tragédie se produisit le 22 octobre 1707, lorsque quatre vaisseaux de la Royale Navy conduits par l'Amiral Sir Cloudisley Shovell heurtèrent le dangereux haut fonds des îles Scilly. L'escadre entière sombrât, entraînant la perte de près de 2000 vies.

Le Parlement répondit au tollé du public en désignant une commission d'experts, le Bureau des Longitudes et, en 1714, offrit une prime de £20,000 à toute personne qui pourrait découvrir un moyen de déterminer la Longitude en mer à moins de un demi degré.

Il offrait aussi £15,000 pour une méthode approchant 2/3 de degrés et £10,000 pour une voisinant 1 degré.

En même temps qu'il suscitait de sérieux intérêts scientifiques le Prix pour la Longitude agissait comme un aimant pour de nombreuses têtes fêlées et leurs propositions bizarres : barges amarrées tout le tour du monde, allumant toutes en même temps une fusée à minuit, machines à mouvement perpétuel scellées sous vide dans d'énormes bouteilles (?) paraissent sensées vis à vis d'autres idées. Un individu, par exemple, déclarait avoir découvert une mystérieuse "Poudre de Sympathie". Si cette poudre avait été saupoudrée sur un couteau ayant infligé une blessure à quelqu'un, la même action ailleurs ferait que cette personne ressentirait la même douleur que la première fois. La proposition était d'avoir un certain nombre de chiens ayant tous été blessés avec le même couteau, ils seraient placés sur différents bateaux de la flotte de Sa Majesté. Tous les jours à minuit quelqu'un à Greenwich plongerait le couteau dans la Poudre de Sympathie et tous les chiens japperaient en même temps n'importe où qu'ils se trouvent. Ainsi informés qu'il était minuit à Greenwich, les marins avaient un élément essentiel pour calculer leur longitude à la mer.

Inutile de préciser que le Bureau des Longitudes n'était pas impressionné !

Les scientifiques avaient réalisé depuis longtemps que la solution idéale au problème de la Longitude était un mécanisme permettant de connaître à quelle distance vous êtes d'un point zéro, tel que Greenwich, en terme de temps, puisque la Longitude est une fonction du temps. Comme les 360° de la circonférence de la Terre sont parcourus toutes les 24 heures, chaque heure de temps équivaut à 15° de rotation ou à une différence de 15° en Longitude.

Au milieu du 18<sup>e</sup> siècle, il n'y avait simplement aucun mécanisme capable de garder une heure correcte pendant un voyage en mer, étant soumis aux violents mouvements d'un bateau et aux valeurs extrêmes de chaleur et de froid lorsque le vaisseau passe de l'Arctique aux Tropiques dans ses voyages d'exploration ou de recherche de produits.

Même le grand Sir Isaac Newton déclarait : "Une telle montre n'a encore jamais été fabriquée !"

## **7 - John Harrison : L'homme qui trouva la longitude**

John Harrison naquit en 1693, fils d'un charpentier de village. Vers l'âge de 20 ans, il avait acquis seul la théorie et l'habileté pratique du métier d'horloger et, lorsque le Prix des Longitudes fut annoncé, Harrison fut convaincu qu'une de ses horloges pourrait le gagner. En 1730, après quatre années de réflexions et d'études approfondies, il avait conçu un plan pour sa première horloge marine. Emmenant ses plans avec lui, il partit de sa maison dans le Lincolnshire pour Greenwich pour obtenir un avis de Edmund Halley, qui était Astronome Royal à cette époque.

Halley reçut Harrison avec bienveillance et lui procurât une entrevue avec le plus grand horloger de l'époque, George Graham. Graham fut extasié par les plans de Harrison et lui offrit même une avance pour achever l'horloge !

Harrison passât les six années suivantes à la construction de son garde temps, connu maintenant sous le nom de 'H1'. Il l'apporta ensuite chez Graham à Londres, qui s'arrangeât pour que le garde temps ait une démonstration publique devant la communauté scientifique. Celui-ci devint instantanément une célébrité, et plusieurs chroniqueurs contemporains clamèrent que c'était une des grandes merveilles des temps modernes ; pour sa première épreuve en mer H1 fonctionnât admirablement. Le Bureau des Longitudes fut favorablement impressionné, mais Harrison sentit qu'il pouvait améliorer les performances de H1 et convainquit le Bureau de lui avancer 250£ pour commencer à construire H2.

Harrison se mit immédiatement au travail sur H2, mais il réalisa bientôt que sa machine comportait quelques défauts de conception. Il commençât alors un troisième garde temps.

Pendant 19 ans, Harrison inlassablement construisit et reconstruisit H3, soutenu par les crédits du Bureau des Longitudes qui (on doit bien l'admettre ) commençait à perdre à la fois patience et confiance et pensait que Harrison ne pourrait jamais fabriquer ce garde temps tant vanté.

La grande découverte se produisit en 1753 quand Harrison passa commande à un horloger pour la fabrication d'une petite montre de poche d'après ses propres plans, celle-ci devant servir à tester la précision de ses grands gardes temps.

Au fur et à mesure qu'il testait cette montre, il réalisait qu'il avait passé les 27 années précédentes à suivre une mauvaise piste. Un petit échappement, avec un balancier à fréquence rapide pouvait fournir un garde temps beaucoup plus stable qu'une énorme horloge marine.

### **La Grande Compétition**

*Ils parlent toujours d'une montre... ce ne peut être qu'une montre. et pensent que les performances de la mienne (à mon idée proche de la vérité ) puissent toujours être une déception.(John Harrison, 1763)*

En 1755, Harrison questionna le Bureau, demandant des fonds pour l'aider à développer H4. Personne ne se montra très compréhensif, et en plus leur attention avait été détournée des gardes temps de marine vers différentes méthodes paraissant pratiquement plus prêtes d'aboutir. L'invention, en 1731, par John Hadley du quadrant à réflexion (Sextant) avait permis d'améliorer beaucoup la précision de mesure des angles célestes.

La publication de nouvelles tables lunaires, récemment compilées par le professeur Tobias Meyer de Göttingen, faisait que l'ancienne proposition pour une solution astronomique au Problème de la Longitude était à reprendre en compte.

Au moment même où Harrison demandait de l'argent pour terminer H4, Nevil Maskelyne, qui fut plus tard Astronome Royal, informait le Bureau que le moment était venu de reconsidérer l'intérêt de la méthode des Distances Lunaires pour trouver la longitude en mer. En 1766 Maskelyne publia la première édition du «*Nautical Almanac* » qui contenait tous les éléments d'observation nécessaires pour obtenir une distance Lunaire en mer. Il donnait la distance angulaire exacte entre la Lune et certaines étoiles fixes, mesurées depuis l'Observatoire à

intervalles de trois heures tout au long de l'année. En utilisant ces tables, un navigateur averti pouvait alors calculer l'heure de Greenwich en se basant sur la position des étoiles au-dessus de sa tête. Connaissant maintenant l'heure de Greenwich il avait fait la moitié du travail pour trouver sa longitude en mer.

H4 fonctionna parfaitement lors de son premier périple en mer, en août 1763, Maskelyne avait été envoyé à la Barbade dans le but d'installer un observatoire destiné à tester la précision de la montre lorsqu'il reviendra pour son second contrôle. A son retour, la précision de H4 était 3 fois meilleure que ce que demandait le texte original du « Longitude Act ».

Mais le Bureau s'était complètement détourné de Harisson. Il refusa de lui décerner le Prix, stipulant que Harrison devrait d'abord divulguer les secrets de sa montre, pour permettre à un autre horloger d'en effectuer deux copies suivant ses plans avant que le Bureau puisse prendre en considération une autre demande d'argent.

De plus, il fut ordonné à Maskelyne de récupérer les quatre autres gardes temps au domicile de Harrison de crainte que celui-ci n'envisage de vendre son secret à l'étranger.

Des copies de H4 furent promptement faites à la fois par Harrison et Larcum Kendall. Leurs montres subirent un contrôle de 10 mois à l'Observatoire ; mais comme le Bureau refusait de décerner le prix, en dernier ressort Harrison décida d'approcher le Roi Georges III directement et réclama la possibilité d'avoir une de ses copies examinées par le Roi lui-même et à son Observatoire privé à Kew.

H5 fut mis en essai de mai à juillet 1772, sa dérive quotidienne, sur une période de 10 semaines, fut en moyenne inférieure à 1/3 de seconde par jour. Harrison contacta de nouveau le Bureau, seulement pour l'informer qu'il ne serait tenu aucun compte de résultats d'essais faits par ailleurs. Finalement c'est seulement sur les recommandations d'un comité financier du parlement spécialement désigné que Harrison put obtenir les 8750 Livres qui lui étaient dues aux termes d'une décision Royale.

## **8 - La création du Temps Standard**

Jusqu'à la moitié du 19<sup>e</sup> siècle, toutes les villes autour du monde utilisaient individuellement le temps local. Il n'existait alors aucune convention nationale ou internationale pour décider comment le temps devait être mesuré ou à quel moment la journée devait commencer et finir. Quelques pays, par exemple, utilisaient le système des 'heures inégales' qui faisait que la durée de l'heure pouvait varier au cours de l'année en changeant le rapport entre les heures de jour et les heures de nuit au moment du passage des saisons.

Pour la plupart, en général, il apparaît que chaque région ou ville avait une journée de 24 heures égales avec le début fixe ; c'est à dire au moment où le Soleil passe au Zénith et traverse le méridien local. Cet instant était facilement déterminé au moyen d'un cadran solaire, ainsi chaque personne pouvait régler sa montre.

Comme le Soleil passe par un nombre infini de méridiens successivement lors de son trajet apparent de l'est à l'ouest, la détermination du 'Midi local' varie elle aussi de l'est à l'ouest. Quand il est midi à Londres, il est déjà 12h05 à Norwich mais seulement 11h44 à Plymouth compte tenu de leurs distances relatives à l'est et à l'ouest du méridien de Greenwich. Nous remarquons d'autre part que le mouvement apparent du Soleil est de 1° d'arc toutes les 4 minutes ou encore de 15° par heure ; Norwich est à 1°15' à l'est de Greenwich et Plymouth en est à 4° à l'ouest.

De tels écarts dans le temps local n'étaient pas réellement importants jusqu'au développement des réseaux ferroviaires. Avec chaque ville du réseau suivant son propre temps local, l'établissement des horaires de chemins de fer devint un véritable cauchemar.

Il fut une époque, aux Etats Unis, où chacune des 80 différentes compagnies établissaient leurs propres horaires basés sur le temps local de leur dépôt principal. Un voyageur allant du Maine à la Californie se trouvait obligé de régler sa montre 20 fois pendant la durée du voyage pour être sûr de ne pas manquer une correspondance.

Ces genres de problèmes se trouvèrent amplifiés avec le développement du télégraphe électrique. Le premier câble sous-marin utilisable fut posé à travers la Manche en 1851 et, en 1860, Londres fut relié aux territoires Indiens par un câble courant entre Malte et Alexandrie. Sous la direction de l'Américain, Cyrus W. Field, 1025 miles nautiques (1900 km) de câble relient l'Irlande à Terre-Neuve en 1865-66.

Pour la première fois dans l'histoire, toute grande ville pouvait virtuellement avoir un contact direct et immédiat avec le reste du monde. Mais il n'y avait toujours aucun accord international sur la détermination de l'heure.

L'Observatoire de Greenwich est depuis longtemps la maison du temps précis en Angleterre. La confiance des astronomes dans la détermination de l'heure par les moyens offerts par l'Astronomie de position fait que les meilleures montres (garde-temps et chronomètres de marine) doivent toutes passer par Greenwich pour être testées et approuvées par l'Astronome Royal.

L'Observatoire fut muni d'une grosse « Boule horloge » sur le toit de Flamsteed House en 1833, destinée à servir de signal de temps visuel pour que tous les navigateurs sur la Tamise puissent utiliser la chute quotidienne de la «boule», à 1 h PM pour ajuster leurs chronomètres. Plus tard, en 1836, l'Observatoire fut chargé du service de « distribution de l'heure » pour les principaux horlogers de Londres. John Henry Belville et plus tard sa fille, Miss Ruth Belville, étaient chargés de régler un gros chronomètre, de John Arnold, par rapport au Temps Moyen de Greenwich avant de le redescendre de la colline de Greenwich jusqu'à la City.

Les astronomes eux utilisaient toujours le temps sidéral (mesuré au moyen des étoiles), mais pour les utilisations civiles ils établirent un nouveau système de temps maintenant connu comme «temps Moyen de Greenwich». Du fait que la Terre tourne autour d'un axe oscillant et que sa vitesse sur son orbite change suivant sa distance au Soleil, ce dernier semble se déplacer au cours de l'année à des vitesses légèrement différentes. Le temps mesuré par un cadran solaire peut être en avance ou en retard de plus de 16 minutes par rapport au temps donné par une horloge. Le «jour Solaire Moyen» obtenu en déterminant la valeur du jour calculé sur l'année moyenne, fut établi pour obtenir une unité de temps plus uniforme. Le « GMT » est basé sur le Jour Solaire Moyen et est mesuré sur le méridien de Greenwich.

Se rendant compte des responsabilités de Greenwich en ce qui concerne la distribution de l'heure, le 7<sup>e</sup> Astronome Royal, Sir George Biddell Airy, installa une grande «horloge maître» électrique dans l'Observatoire, celle-ci envoyait ses impulsions à un grand nombre d'horloges esclaves à travers tout le pays. Le «maître» fut construit par l'horloger londonien Charles Shepherd et installé en 1852.

Vers 1850, la nécessité d'arriver à un temps standard en Grande Bretagne devint un grand sujet de discussions. Beaucoup de gens, particulièrement dans le nord et l'ouest du pays, s'indignaient qu'on puisse leur imposer un temps standard établi à Greenwich. Certains parlaient de «l'agression du railway» pensant que cette nouvelle proposition était le fait de quelques grosses têtes du gouvernement et du grand « Business » (nous en avons fait le « biseness ») dressé contre le commun des mortels. Cependant, dès 1855, 98% des horloges publiques de Grande Bretagne étaient réglées sur le GMT. Néanmoins, ce n'est que le 2 août 1880 que le GMT obtint une confirmation Royale en tant que « British Standard Time ».

## **9 - L'Heure de Greenwich pour le Monde**

La nécessité d'un temps standard en Grande Bretagne, où la différence de temps en longitude est inférieure à 30 minutes, était peu de choses comparé aux problèmes auxquels devaient faire face le Canada et les Etats Unis où les différences entre les côtes est et ouest étaient supérieures à 3 heures. Le professeur Charles Ferdinand Dowd fut le premier à proposer que ces deux pays adoptent un Système de Zones Internationales dans lequel chaque 15° de longitude vaudrait une heure et où l'heure serait uniforme dans chaque zone de 15°. La proposition de Dowd fut approuvée par une loi aux Etats Unis en 1883 avec une annotation

spéciale indiquant que Greenwich (et non pas une ville Américaine) sera choisie comme longitude 0° pour l'ensemble du pays.

A la même époque dans différentes capitales du monde se tinrent des colloques sur la possibilité d'établir un système de zone internationale pour le monde entier. Comme on peut s'en douter le point épineux était de décider où loger le Premier Méridien du monde.

En octobre 1884, 41 délégués de 25 nations s'assemblèrent à Washington pour la conférence internationale du méridien. A la fin de cette conférence furent votés 7 textes importants :

Il est souhaitable d'adopter un unique méridien origine en lieu et place de tous ceux existants.

Le méridien passant par le principal instrument de transit de l'Observatoire de Greenwich doit être le « Méridien Origine ».

Toutes les longitudes seront calculées à la fois vers l'est et vers l'ouest à partir de ce méridien jusqu'à 180°.

Tous les pays adopteront un jour universel.

Le jour universel sera le « Jour Solaire Moyen » commençant à Minuit (0 heure de Greenwich) et compté sur 24 heures d'horloge.

Les jours nautiques et astronomiques commenceront toujours à minuit temps moyen.

Enfin toutes les études techniques destinées à améliorer et étendre les applications du système décimal à la division du temps et de l'espace devront être encouragées.

Greenwich obtint le titre de Longitude 0° par vote de 22 voix pour, 1 contre (St Domingue) et 2 abstentions (France et Brésil). Il y eut deux raisons principales pour cette victoire. La première était que les Etats Unis avaient choisi Greenwich comme base pour leur propre système de zones horaires. La seconde, mise en avant par le délégué britannique représentant le Canada, Sandford Fleming, était que si on calcul le tonnage total des navires naviguant sur les mers 72% du commerce mondial se sert de cartes marines utilisant Greenwich comme méridien origine.

La décision, principalement, eut comme argument qu'en désignant Greenwich comme méridien origine cela ne serait une gêne que pour un minimum de gens.

Traduction **R. PRUD'HOMME** d'après un *Guide de l'Observatoire de Greenwich*.

**Solution  
Des mots  
croisés**

N		D	I	U	R	N	E
A	M	A	S			L	N
D		T	O	R	E		C
I	L	E		H	R		K
R	G		G	E	O	D	E
		R	R		D	U	
I	O	N	I	S	E	E	S
O	U	R	S	E	S		N

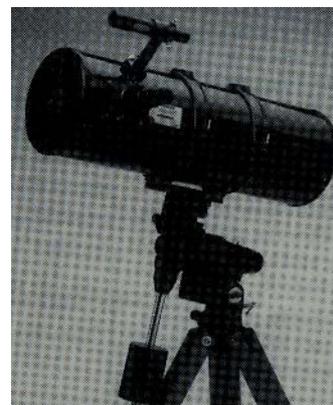
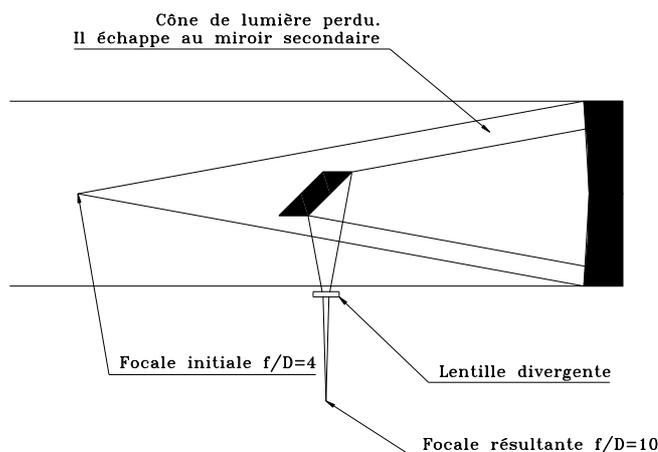
## Y'en a marre !

On trouve dans le commerce de petits télescopes Newton compacts. Ce sont des télescopes Newton à très courte focale (environ  $f/D=4$ ) comportant dans le porte oculaire une lentille divergente qui rallonge la focale jusqu'à un  $f/D=10$ . Ce sont en général des télescopes 114/1000, c'est à dire de diamètre 114mm et d'une focale résultante de 1000mm pour un tube d'environ 500mm de long seulement. S'il paraît séduisant d'avoir un télescope compact et donc plus commode à transporter, il faut tout de même savoir que je n'ai jamais rencontré un instrument de ce type ne comportant pas le grave défaut d'un diaphragmage très important. Ce n'est pourtant pas faute d'avoir essayé d'en régler quelques-uns pour que les malheureux propriétaires puissent en tirer tout de même quelque chose, mais, outre la difficulté du réglage, le défaut d'origine est insoluble. D'autres comme moi s'y sont employés et n'ont pu que constater la mauvaise conception.

Le défaut réside dans la trop faible dimension du miroir secondaire et de la lentille divergente. Il en résulte que l'oculaire ne reçoit pas toute la lumière venant du miroir. Dans le dernier télescope de ce type qui m'est passé dans les mains, l'oculaire ne recevait que la lumière venant d'une partie du miroir faisant environ 80mm de diamètre. On est loin de ce que l'on peut attendre d'un télescope de 114mm de diamètre. C'est presque 50% de lumière en moins et une résolution une demi-fois moindre !!!

Si vous avez à acheter un télescope de cette dimension, prenez sans hésiter le Newton classique, avec son bon vieux tube d'un mètre de long, vous ne le regretterez pas. Moi non plus je ne le regretterai pas, car il est assez déplaisant, quand on essaie d'aider un débutant en lui montrant comment régler son télescope, de le laisser repartir avec un instrument qui ne pourra de toute façon pas le satisfaire. Robert Prud'Homme me fait une remarque judicieuse ; on peut être séduit par ce type d'appareil car le tube très court ressemble ou fait penser au Schmidt-Cassegrain. Il ne faut pas faire l'amalgame, sur un SC l'oculaire se trouve dans l'axe du tube sur le fond et sur un Newton il se trouve perpendiculaire sur l'avant du tube. Attention donc à ne pas céder à ce qui est séduisant dans le magasin et qui peut se révéler lamentable sur le terrain.

Si vous possédez un télescope de ce type, et que vous n'en soyez pas content, il serait intéressant de se retourner contre le fabricant ou l'importateur pour tromperie sur la marchandise. Je rêve d'un jour où ce type d'instrument aura disparu des vitrines.



Combien d'astronomes en herbe ont été dégouttés de l'astronomie après l'acquisition d'un tel appareil ? L'astronomie loisir devient l'astronomie galère !

**Claude FERRAND**