

# Exposition du système du monde

1796 - En l'an IV de la République Française, paraît à Paris, à l'imprimerie du CERCLE-SOCIAL, 4 rue du Théâtre Français EXPOSITION DU SYSTEME DU MONDI par **Pierre-Simon Laplace** de l'Institut National de France et du Bureau des Longitudes. L'ouvrage se présente sous la forme de deux volumes de 320 et 316 pages.

Dans un bref AVERTISSEMENT, Laplace précise : "*J'adopterai dans cet ouvrage la division du quart de cercle en cent degrés, du degré en cent minutes, de la minute en cent secondes, etc. J'adopterai pareillement la division du jour en dix heures, de l'heure en cent minutes, de la minute en cent secondes, etc... Enfin je rapporterai toutes les mesures linéaires au pied ou à la sixième partie de la toise de fer qui a servi à la mesure de la Terre, au Pérou, cette toise étant supposée à la température de seize degrés du thermomètre.*"

Premier volume, trois parties : 1) Des mouvements apparents des corps célestes. 2) Des mouvements réels des corps célestes. 3) Des lois du mouvement. Second volume, deux parties : 4) De la théorie de la pesanteur universelle. 5) Précis de l'histoire de l'astronomie.

L'ouvrage était destiné à un large public sachant lire mais non spécialiste ; il ne contient aucun développement théorique ni équation. Nous reproduisons le texte de Laplace en modernisant l'orthographe et la graphie (Laplace écrit soleil, terre et lune sans majuscule). C'est dans le chapitre VI de la dernière partie qu'il énonce sa célèbre hypothèse sur la formation du système solaire, un beau texte que voici, à relire et à commenter avec les élèves :

## Considérations sur le système du monde, et sur les progrès futurs de l'astronomie

Arrêtons présentement nos regards sur la disposition du système solaire, et sur ses rapports avec les étoiles. Le globe immense du Soleil foyer de ses mouvements, tourne en vingt-cinq jours et demi sur lui-même ; sa surface est recouverte d'un Océan de matière lumineuse, dont les vives effervescences forment des taches variables, souvent très nombreuses, et quelquefois plus larges que la Terre. Au-dessus de cet Océan, s'élève une vaste atmosphère ; c'est au-delà que les planètes avec leurs satellites se meuvent dans des orbites presque circulaires, et sur des plans peu inclinés à l'équateur solaire. D'innombrables comètes, après s'être rapprochées du Soleil, s'en éloignent à des distances qui prouvent que son empire s'étend beaucoup plus loin que les limites connues du système planétaire. Non seulement cet astre agit par son attraction sur tous ces globes, en les forçant à se mouvoir autour de lui ; mais il répand sur eux sa lumière et sa chaleur. Son action bienfaisante fait éclore les animaux et les plantes qui couvrent la surface de la Terre, et l'analogie nous porte à croire qu'elle produit de semblables effets sur les planètes ; car il n'est pas naturel de penser que la matière dont nous voyons la fécondité se développer en tant de façons, est stérile sur une aussi grosse planète que Jupiter qui, comme le globe terrestre, a ses jours, ses nuits et ses années, et sur lequel les observations indiquent

des changements qui supposent des forces très actives. L'homme fait pour la température dont il jouit sur la Terre, ne pourrait pas, selon toute apparence, vivre sur les autres planètes ; mais ne doit-il pas y avoir une infinité d'organisations relatives aux diverses températures des globes de cet univers ? Si la seule différence des éléments et des climats met tant de variété dans les productions terrestres, combien plus doivent différer celles des diverses planètes et de leurs satellites ? L'imagination la plus active ne peut s'en former aucune idée, mais leur existence est très vraisemblable.

Quoique les éléments du système des planètes soient arbitraires ; cependant, ils ont entre eux des rapports très remarquables qui peuvent nous éclairer sur son origine. En le considérant avec attention, on est étonné de voir toutes les planètes se mouvoir autour du Soleil, d'occident en orient, et presque dans le même plan ; tous les satellites en mouvement autour de leurs planètes, dans le même sens et à peu près dans le même plan que ces planètes ; enfin, le Soleil, les planètes et les satellites dont on a observé les mouvements de rotation, tournant sur eux-mêmes, dans le sens et à peu près dans le plan de leurs mouvements de projection.

Un phénomène aussi extraordinaire n'est point l'effet du hasard ; il indique une cause générale qui a déterminé tous ces mouvements. Pour avoir une approximation de la probabilité avec laquelle cette cause est indiquée, nous remarquons que le système planétaire, tel que nous le connaissons aujourd'hui, est composé de sept planètes et de quatorze satellites ; on a observé les mouvements de rotation du Soleil, de cinq planètes, de la Lune, de l'anneau de Saturne et de son dernier satellite ; ces mouvements, avec ceux de révolution, forment un ensemble de trente mouvements dirigés dans le même sens. Si l'on conçoit le plan d'un mouvement quelconque direct, couché d'abord sur celui de l'écliptique, s'inclinant ensuite à ce dernier plan, et parcourant tous les degrés d'inclinaison depuis zéro jusqu'à la demi-circonférence ; il est clair que le mouvement sera direct dans toutes les inclinaisons inférieures à cent degrés, et qu'il sera rétrograde dans les inclinaisons au-dessus ; en sorte que par le changement seul d'inclinaison, on peut représenter les mouvements directs et rétrogrades. Le système solaire, envisagé sous ce point de vue, nous offre donc vingt-neuf mouvements dont les plans sont inclinés à celui de la Terre, tout au plus, du quart de la circonférence ; or, en supposant que leurs inclinaisons aient été l'effet du hasard, elles auraient pu s'étendre jusqu'à la demi-circonférence ; et la probabilité que l'une d'elles, au moins, en eut surpassé le quart, serait  $1 - 1/2^{29}$  ou  $\frac{536870911}{536870912}$  ; il est donc extrêmement probable que la direction des mouvements planétaires n'est point l'effet du hasard, et cela devient plus probable encore, si l'on considère que l'inclinaison du plus grand nombre de ces mouvements à l'écliptique est très petite et fort au-dessous du quart de la circonférence.

Un autre phénomène également remarquable du système solaire est le peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites, tandis que ceux des comètes sont fort allongés ; les orbites de ce système n'offrant point de nuances intermédiaires entre une grande et une petite excentricité. Nous sommes encore forcés de reconnaître ici l'effet d'une cause régulière ; le hasard seul n'eût point donné

une forme presque circulaire aux orbites de toutes les planètes ; il est donc nécessaire que la cause qui a déterminé les mouvements de ces corps les ait rendus presque circulaires. Il faut encore que cette cause ait influé sur la grande excentricité des orbites des comètes et, ce qui est fort extraordinaire, sans avoir influé sur les directions de leurs mouvements ; car en regardant les orbites des comètes rétrogrades comme étant inclinées de plus de cent degrés à l'écliptique, on trouve que l'inclinaison moyenne des orbites de toutes les comètes observées approche beaucoup de cent degrés ; comme cela doit être si ces corps ont été lancés au hasard.

Ainsi l'on a pour remonter à la cause des mouvements primitifs du système planétaire, les cinq phénomènes suivants : 1°) les mouvements des planètes dans le même sens, et à peu près dans un même plan ; 2°) les mouvements des satellites dans le même sens, à peu près dans le même plan que celui des planètes ; 3°) les mouvements de rotation de ces différents corps et du Soleil dans le même sens que leurs mouvements de projection et dans des plans peu différents ; 4°) le peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites ; 5°) enfin, la grande excentricité des orbites des comètes, quoique leurs inclinaisons aient été abandonnées au hasard.

Buffon est le seul que je connaisse qui, depuis la découverte du vrai système du monde, ait essayé de remonter à l'origine des planètes et des satellites. Il suppose qu'une comète, en tombant sur le Soleil, en a chassé un torrent de matière qui s'est réunie au loin, en divers globes plus ou moins grands et plus ou moins éloignés de cet astre. Ces globes sont les planètes et leurs satellites qui, par leur refroidissement sont devenus opaques et solides.

Cette hypothèse satisfait au premier des cinq phénomènes précédents ; car il est clair que tous les corps ainsi formés doivent se mouvoir à peu près dans le plan qui passait par le centre du Soleil et par la direction du torrent de matière qui les a produits. Les quatre autres phénomènes me paraissent inexplicables par son moyen. A la vérité, le mouvement absolu des molécules d'une planète doit être alors dirigé dans le sens du mouvement de son centre de gravité ; mais il ne s'ensuit point que le mouvement de rotation de la planète soit dirigé dans le même sens ; ainsi la Terre pourrait tourner d'orient en occident et cependant le mouvement absolu de chacune de ses molécules serait dirigé d'occident en orient. Ce que je dis du mouvement de rotation des planètes s'applique au mouvement de révolution des satellites, dont la direction, dans l'hypothèse dont il s'agit, n'est pas nécessairement la même que celle du mouvement de projection des planètes.

Le peu d'excentricité des orbites planétaires est non seulement très difficile à expliquer dans cette hypothèse, mais ce phénomène lui est contraire. On sait par la théorie des forces centrales, que si un corps mu dans un orbite rentrant autour du Soleil, rase la surface de cet astre, il y reviendra constamment à chacune de ses révolutions ; d'où il suit que si les planètes avaient été primitivement détachées du Soleil, elles le toucheraient à chaque révolution, et leurs orbites, loin d'être circulaires, seraient fort excentriques. Il est vrai qu'un torrent de matière, chassé du Soleil, ne peut pas être

exactement comparé à un globe qui rase sa surface ; l'impulsion que les parties de ce torrent reçoivent les unes des autres et l'attraction réciproque qu'elles exercent entre elles peut, en changeant la direction de leurs mouvements, éloigner leurs périhélie du Soleil. Mais leurs orbites devraient toujours être fort excentriques ou, du moins, il faudrait le hasard le plus extraordinaire pour leur donner d'aussi petites excentricités que celles des orbites planétaires. Enfin, on ne voit pas dans l'hypothèse de Buffon, pourquoi les orbites d'environ quatrevingt comètes déjà observées sont fort allongées. Cette hypothèse est donc très éloignée de satisfaire aux phénomènes précédents. Voyons s'il est possible de s'élever à leur véritable cause.

Quelle que soit sa nature , puisqu'elle a produit ou dirigé les mouvements des planètes et des satellites, il faut qu'elle ait embrassé tous ces corps ; et vu la distance prodigieuse qui les sépare, elle ne peut avoir été qu'un fluide d'une immense étendue. Pour leur avoir donné dans le même sens un mouvement presque circulaire autour du Soleil, il faut que ce fluide ait environné cet astre comme une atmosphère. La considération des mouvements planétaires nous conduit donc à penser qu'en vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du Soleil s'est primitivement étendue au-delà des orbites de toutes les planètes et qu'elle s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles ; ce qui peut avoir eu lieu par des causes semblables à celle qui fit briller du plus vif éclat, pendant plusieurs mois, la fameuse étoile que l'on vit tout à coup, en 1572, dans la constellation de Cassiopée.

La grande excentricité des orbites des comètes conduit au même résultat. Elle indique évidemment la disparition d'un grand nombre d'orbites moins excentriques ; ce qui suppose autour du Soleil une atmosphère qui s'est étendue au-delà du périhélie des comètes observables et qui, en détruisant les mouvements de celles qui l'ont traversée pendant la durée de sa grande étendue, les a réunis au Soleil. Alors, on voit qu'il ne doit exister présentement que les comètes qui étaient au-delà, dans cet intervalle, et comme nous ne pouvons observer que celles qui approchent assez près du Soleil, dans leur périhélie, leurs orbites doivent être fort excentriques. Mais, en même temps, on voit que leurs inclinaisons doivent offrir les mêmes inégalités que si ces corps ont été lancés au hasard puisque l'atmosphère solaire n'a point influé sur leurs mouvements. Ainsi, la longue durée des révolutions des comètes, la grande excentricité de leurs orbites et la variété de leurs inclinaisons s'expliquent très naturellement au moyen de cette atmosphère.

Mais comment a-t-elle déterminé les mouvements de révolution et de rotation des planètes ? Si ces corps avaient pénétré dans ce fluide, sa résistance les aurait fait tomber sur le Soleil ; on peut donc conjecturer qu'ils ont été formés aux limites successives de cette atmosphère par la condensation des zones qu'elle a dû abandonner dans le plan de son équateur en se refroidissant et en se condensant à la surface de cet astre comme on l'a vu dans le livre précédent. On peut conjecturer encore que les satellites ont été formés d'une manière semblable par les atmosphères des planètes. Les cinq phénomènes exposés ci-dessus découlent naturellement de ces hypothèses auxquelles les anneaux de Saturne ajoutent un nouveau degré de vraisemblance.

Quoiqu'il en soit de cette origine du système planétaire que je présente avec la défiance que doit inspirer tout ce qui n'est point un résultat de l'observation ou du calcul, il est certain que ses éléments sont ordonnés de manière qu'il doit jouir de la plus grande stabilité si des causes étrangères ne viennent point la troubler. Par cela seul que les mouvements des planètes et des satellites sont presque circulaires et dirigés dans le même sens et dans des plans peu différents, ce système ne fait qu'osciller autour d'un état moyen dont il ne s'écarte jamais que de quantités très petites ; les moyens mouvements de ses différents corps sont uniformes et leurs distances moyennes aux foyers des forces principales qui les animent sont constantes. Il semble que la nature ait tout disposé dans le ciel pour assurer la durée de ce système par des vues semblables à celles qu'elle nous paraît suivre si admirablement sur la Terre pour la conservation des individus et la perpétuité des espèces.

Portons maintenant nos regards au-delà du système solaire. D'innombrables soleils qui peuvent être les foyers d'autant de systèmes planétaires sont répandus dans l'immensité de l'espace et à un éloignement de la Terre tel que le diamètre entier de l'orbe terrestre, vu de leur centre, est insensible. Plusieurs étoiles éprouvent, dans leur couleur et dans leur clarté, des variations périodiques très remarquables ; il en est d'autres qui ont paru tout à coup et qui ont disparu après avoir, pendant quelque temps, répandu une vive lumière. Quels prodigieux changements ont dû s'opérer à la surface de ces grands corps pour être aussi sensibles à la distance qui nous en sépare et combien ils doivent surpasser ceux que nous observons à la surface du Soleil ? Tous ces corps devenus invisibles sont à la même place où ils ont été observés puisqu'ils n'en ont point changé durant leur apparition ; il existe donc dans les espaces célestes des corps obscurs aussi considérables et peut-être en aussi grand nombre que les étoiles. Un astre lumineux de même densité que la Terre et dont le diamètre serait deux cent cinquante fois plus grand que celui du Soleil, ne laisserait, en vertu de son attraction, parvenir aucun de ses rayons jusqu'à nous ; il est donc possible que les plus grands corps lumineux de l'univers soient par cela même invisibles. Une étoile qui, sans être de cette grandeur, surpasserait considérablement le Soleil affaiblirait sensiblement la vitesse de la lumière et augmenterait ainsi l'étendue de son aberration. Cette différence dans l'aberration des étoiles, un catalogue de celles qui ne font que paraître et leur position observée au moment de leur éclat passager, la détermination de toutes les étoiles changeantes et des variations périodiques de leur lumière, enfin les mouvements propres de tous ces grands corps qui obéissent à leur attraction mutuelle et probablement à des impulsions primitives décrivent des orbites immenses ; tels seront, relativement aux étoiles, les principaux objets de l'astronomie future.

Il paraît que ces astres, loin d'être disséminés à des distances à peu près égales dans l'espace sont rassemblées en divers groupes formés chacun de plusieurs milliards d'étoiles. Notre Soleil et les plus brillantes étoiles font probablement partie d'un de ces groupes qui, vu du point où nous sommes, semble entourer le ciel et forme la Voie Lactée. Le grand nombre d'étoiles que l'on voit à la fois dans le champ d'un grand télescope dirigé vers cette voie nous prouve son immense profondeur qui surpasse mille fois la distance de Sirius à la Terre. En s'en éloignant, elle finirait par offrir l'apparence d'une lumière blanche et continue d'un petit diamètre car alors, l'irradiation qui subsiste, même dans les plus

forts télescopes, couvrirait et ferait disparaître les intervalles des étoiles . Il est donc vraisemblable que les nébuleuses sans étoiles sont des groupes d'étoiles vus de très loin et dont il suffirait de s'approcher pour qu'ils présentassent des apparences semblables à la Voie Lactée. Les distances mutuelles des étoiles qui forment chaque groupe sont au moins cent mille fois plus grandes que la distance du Soleil à la Terre ; ainsi l'on peut juger de la prodigieuse étendue de ces groupes par la multitude d'étoiles que l'on aperçoit dans la Voie Lactée. Si l'on réfléchit ensuite au peu de largeur et au grand nombre des nébuleuses qui sont séparées les unes des autres par un intervalle incomparablement plus grand que la distance mutuelle des étoiles dont elles sont formées, l'imagination étonnée de l'immensité de l'univers aura peine à lui concevoir des bornes.

De ces considérations fondées sur les observations télescopiques, il résulte que les nébuleuses qui paraissent assez bien terminées pour que l'on puisse déterminer leurs centres avec précision, sont par rapport à nous, les objets célestes les plus fixes et ceux auxquels il convient de rapporter la position de tous les astres. Il en résulte encore que les mouvements des corps de notre système solaire sont très composés. La Lune décrit un orbe presque circulaire autour de la Terre ; mais vue du Soleil, elle décrit une suite d'épicycloïdes dont les centres sont sur la circonférence de l'orbe terrestre. Pareillement, la Terre décrit une suite d'épicycloïdes dont les centres sont sur la courbe que le Soleil décrit autour du centre de gravité de notre nébuleuse ; enfin, le Soleil décrit lui-même une suite d'épicycloïdes dont les centres sont sur la courbe décrite par le centre de gravité de notre nébuleuse autour de celui de l'univers. L'astronomie a déjà fait un grand pas en nous faisant connaître le mouvement de la Terre et la suite des épicycloïdes que la Lune et les satellites décrivent sur les orbes des planètes. Il reste à déterminer l'orbe du Soleil et celui du centre de gravité de sa nébuleuse. Mais s'il a fallu des siècles pour connaître les mouvements du système planétaire, quelle durée prodigieuse exige la détermination des mouvements du Soleil et des étoiles ? Les observations commencent à les faire apercevoir ; on a essayé de les expliquer par le seul déplacement du Soleil que paraît indiquer son mouvement de rotation. Plusieurs observations sont assez bien représentées en supposant le système solaire emporté vers la constellation d'Hercule ; d'autres observations semblent prouver que ces mouvements apparents des étoiles sont une combinaison de leurs mouvements réels avec celui du Soleil. Le temps découvrira sur cet objet des vérités curieuses et importantes.

Il reste à faire sur notre propre système de nombreuses découvertes. La planète Uranus et ses satellites, nouvellement reconnus, donnent lieu de soupçonner l'existence de quelques planètes jusqu'ici non observées. On n'est point encore parvenu à déterminer les mouvements de rotation et l'aplatissement de plusieurs planètes et de la plupart des satellites ; on ne connaît pas avec une précision suffisante les masses de tous ces corps. La théorie de leurs mouvements est une suite d'approximations dont la convergence dépend à la fois de la perfection des instruments et des progrès de l'analyse ; et qui par là doit acquérir de jour en jour de nouveaux degrés d'exactitude. On déterminera par des mesures précises et multipliées les inégalités de la figure de la Terre et la variation de la pesanteur à sa surface. Le retour des comètes déjà observées, les nouvelles comètes qui

paraîtront, l'apparition de celles qui, mues dans des orbites hyperboliques, peuvent errer de système en système, les perturbations que tous ces astres éprouvent et qui, à l'approche d'une grosse planète, peuvent changer entièrement leurs orbites comme on conjecture que cela est arrivé par l'action de Jupiter à la comète de 1770, les accidents que la grande proximité et même le choc de ces corps peuvent occasionner dans les planètes et les satellites, enfin les altérations que les mouvements du système solaire éprouvent de la part des étoiles, tels sont les principaux objets que ce système offre aux recherches des astronomes et des géomètres futurs.

Vue dans son ensemble, l'astronomie est le plus noble monument de l'esprit humain, le titre le plus noble de son intelligence. Séduit par les illusions des sens et de l'amour propre, il s'est regardé pendant longtemps comme le centre du mouvement des astres et son orgueil a été puni par les vaines frayeurs qu'ils lui ont inspirées. Enfin, plusieurs siècles de travaux ont fait tomber le voile qui couvrait le système du monde. L'homme alors s'est vu sur une petite planète presque imperceptible dans la vaste étendue du système solaire qui lui-même n'est qu'un point insensible dans l'immensité de l'espace. Les résultats sublimes auxquels cette découverte l'a conduit sont bien propres à le consoler du peu de place qu'elle lui assigne dans l'univers. Conservons précieusement, augmentons même, le dépôt de ces hautes connaissances, les délices des êtres pensants. Elles ont rendu d'importants services à la navigation et à la géographie ; mais leur plus grand bienfait est d'avoir dissipé les craintes occasionnées par les phénomènes célestes extraordinaires et détruit les erreurs nées de l'ignorance de nos vrais rapports avec la nature, erreurs d'autant plus funestes que l'ordre social doit reposer uniquement sur ces rapports. VERITE, JUSTICE, voilà ses lois immuables. Loin de nous la dangereuse maxime qu'il est quelquefois utile de s'en écarter et de tromper ou d'asservir les hommes pour assurer leur bonheur. De cruelles expériences ont prouvé dans tous les temps que ces lois sacrées ne sont jamais impunément enfreintes.

Ainsi s'achève le second et dernier volume.

#### RAPPEL QUELQUES DONNEES BIOGRAPHIQUES ET BIBLIOGRAPHIQUE

pouvant servir au commentaire du texte de Laplace avec les élèves

Pierre-Simon LAPLACE est né à Beaumont sur Auge (près de Pont l'Evêque) le 23 mars 1749 ; il est mort à Paris le 5 mars 1827 . l'année du centenaire de la mort de Newton.

Venu à Paris en 1769, sur la recommandation de d'Alembert. il est nommé professeur de mathématiques à l'Ecole royale militaire où il succédait à Bezout.

En 1784. Laplace découvre la cause des grandes inégalités du mouvement de Jupiter et de Saturne.

En 1784, Laplace publie *Théorie du mouvement et de la figure elliptique des planètes.*

Retiré à Meün pendant la Terreur, il écrit *L'Exposition du système du monde.*

En l'An III de la République il est nommé adjoint de Lagrange à la célèbre Ecole Normale de l'An III et cette même année il fait partie du premier conseil du Bureau des Longitudes

Rallié successivement à Napoléon et à Louis XVIII, il réunit à Arcueil dans la banlieue sud de Paris les plus grands savants de son temps dans la célèbre Société d'Arcueil.

L'oeuvre mathématique : *Traité analytique des probabilités* (1812), *Mécanique céleste* (1798-1829).