

Pierre-Simon Laplace et le *Traité de mécanique céleste*

Hélène HORSIN MOLINARO

Culture Sciences
de l'Ingénieur

Édité le
23/02/2026

école _____
normale _____
supérieure _____
paris-saclay _____

En 1825, il y a deux siècles, était publié le volume V du *Traité de mécanique céleste* de Pierre-Simon Laplace, 20 ans après le volume IV (1805) et 26 ans après les deux premiers volumes (1799).

Mais qui était Pierre-Simon Laplace ? et qu'a-t-il fait ?



Figure 1 : Portrait de Pierre-Simon Laplace par James Posselwhite¹

Cette ressource propose de parcourir la vie de Pierre-Simon Laplace, en particulier sa vie de savant, et de revenir sur ses publications du *Traité de mécanique céleste*.

1 - La vie de Pierre-Simon Laplace (1749-1827)

Pierre-Simon Laplace naît au milieu du XVIII^e siècle alors que Louis XV règne, suivi de Louis XVI lorsque Laplace est jeune adulte. La révolution française arrive alors que Laplace, 40 ans, est académicien et tout juste marié. Une période d'instabilité institutionnelle fait ensuite se succéder monarchie constitutionnelle (1789-92), République sous trois régimes différents : Convention nationale (92-95), Directoire (95-99), Consulat (1799-1804). Puis l'Empire est proclamé jusqu'à l'abdication de Napoléon 1^{er} en 1814, la monarchie est alors rétablie, période de la Restauration, Louis XVIII règne jusqu'en 1824, en dehors du retour de Napoléon durant les Cent-Jours en 1815, Charles X lui succède. Laplace traverse toutes ces périodes.

1.1 - Enfance normande (1749-1768)

Laplace est le nom fréquemment utilisé pour citer ce savant, mais son nom sur les registres paroissiaux est bien *de Laplace*. 14 pages rédigées par l'abbé G.A. Simon² en 1927, *Les origines de*

¹ James Posselwhite (1798-1884), graveur Britannique

² Abbé Georges-Abel Simon (1884-1958), ordonné prêtre en 1907 pour le diocèse de Bayeux, curé de Montreuil-en-Auge (Calvados) de 1910 à 1953, nommé chanoine honoraire en 1924, puis chanoine titulaire de la

Laplace : sa généalogie, ses études [7], permettent de se rendre compte des différentes orthographes du nom et de l'environnement familiale du jeune Pierre-Simon de Laplace.

Né le 23 mars 1749 à Beaumont-en-Auge en Normandie, Pierre-Simon de Laplace est le deuxième enfant de Marie-Anne Sochon (≈1723-1768) et de Pierre de Laplace, après Marie-Anne née en 1745. La famille de Laplace est originaire de Bourgeauville (figure 2) à quelques kilomètres à l'ouest de Beaumont-en-Auge où le grand-père paternel, Simon, s'établit en 1743. Simon est le dernier enfant de Maître François de Laplace (1638-1731) et de Barbe Bellot (figure 3). Le « titre » de Maître est donné de père en fils aîné. Ainsi le frère aîné de Simon, est Maître Olivier de Laplace (1669-1736), chirurgien royal. À Bourgeauville, les de Laplace sont des notables, propriétaires terriens s'alliant avec la noblesse, dont ils ne font pas partie. L'abbé G.A. Simon parle d'aristocratie terrienne. Le grand père Simon, marié à Marie Viel aura six enfants, dont Louis qui sera prêtre et mathématicien, et Marie qui épouse Robert Carrey, médecin, ce sont les oncles de Pierre-Simon. Le père, Pierre, ne semble pas avoir poursuivi d'études, cependant c'est un notable. Il sera d'ailleurs désigné syndic³ de la paroisse de Beaumont.



Figure 2 : Situation de Beaumont-en-Auge (11 km au sud de Deauville, 20 km à l'est de Cabourg) et situation des villes citées

Les Sochon, famille maternelle de Pierre-Simon de Laplace, sont originaires de Vauville à quelques kilomètres au nord de Bourgeauville (figure 2) et sont de riches cultivateurs. Nicolas Sochon, arrière grand- père maternel de Pierre-Simon s'établit à Tourgéville en se mariant. Il y a un fils Antoine qui a lui-même un fils Robert-Louis, père de Marie-Anne Sochon et grand père de Pierre-Simon.

Le jeune Pierre-Simon grandit dans un milieu de notables instruits et aisés. À Beaumont-en-Auge se trouve un prieuré de moines bénédictins qui, en 1741, fondèrent un collège sous la protection du duc d'Orléans, héritier des fondateurs du prieuré. Les pensionnaires du collège (uniquement des garçons vu l'époque...) appartiennent aux paroisses du domaine du duc d'Orléans, ils sont internes, moyennant paiement, ou externes. Les jeunes garçons, admis entre 7 et 12 ans, se destinent à

cathédrale de Bayeux et archiviste du diocèse. Historien, généalogiste et héraldiste, il mena de nombreuses recherches et publia une trentaine d'ouvrages essentiellement sur l'histoire religieuse de la Normandie.

³ Le syndic, sous la Royauté de France de ce XVIII^e siècle, désigne le notable chargé de représenter, administrer et défendre les intérêts de la paroisse ; généralement il est élu par l'assemblée des chefs de famille de la paroisse.

l'armée, à la robe⁴ ou encore à l'état ecclésiastique ; leurs uniformes les distinguent : militaire pour les premiers, bleu-de-roi, rouge et or pour les deuxièmes, et noirs pour les derniers. L'enseignement se déroule de début octobre jusqu'à mi-août, tous les jours y compris le dimanche pour les devoirs.

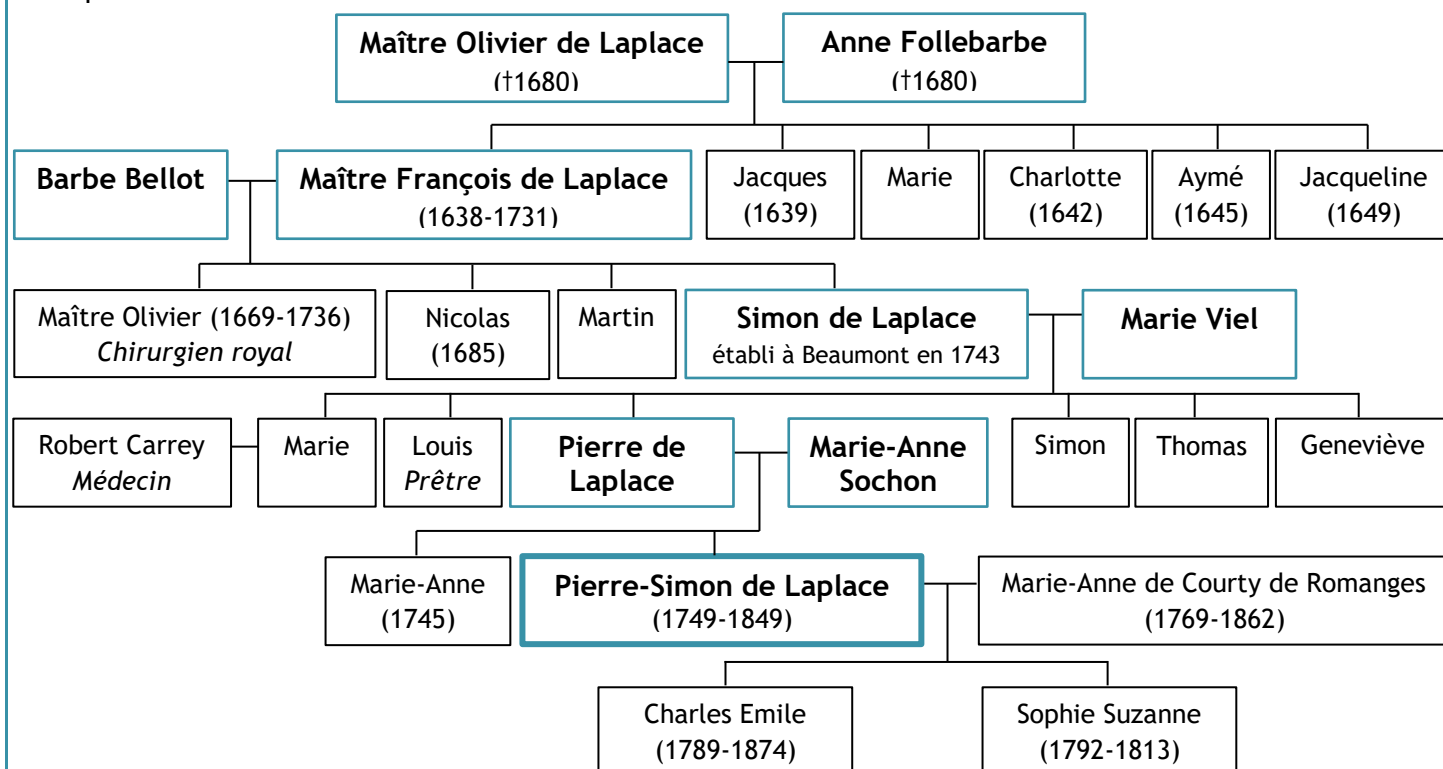


Figure 3 : Arbre généalogique partiel des de Laplace d'après [7]

Le petit Pierre-Simon fait sa rentrée au collège en habit noir, probablement en octobre 1756, il a eu 7 ans en mars. Son oncle l'abbé Louis de Laplace loge dans la maison familiale, ainsi, le jeune garçon, dont il est dit qu'il avait une intelligence précoce et une prodigieuse mémoire, a probablement déjà reçu une première instruction et le goût des sciences. Il est vraisemblable que l'Abbé de Laplace faisait également la classe au prieuré ; il meurt en 1759, Pierre-Simon a 10 ans.

Laplace quitte le collège en août 1765, il a 16 ans. L'aisance financière familiale lui permet de continuer ses études comme étudiant ecclésiastique au Collège des Arts de l'Université de Caen, afin de se perfectionner en littérature grecque et latine et en philosophie pendant deux années avant d'étudier la théologie. Christophe Gabbled⁵, professeur de philosophie et également mathématicien, et Pierre Le Canu, professeur de médecine et de philosophie et lui aussi mathématicien, ont sans doute infléchi la vie tracée de Laplace. Ceux que Pierre-Simon dit qu'ils furent *plus que des maîtres, des amis*, lui ont permis de faire *des progrès rapides dans le domaine des sciences exactes*.

À la sortie du Collège des Arts de Caen, Pierre-Simon de Laplace a 18 ans, et est répétiteur quelques temps dans le Collège de Beaumont, en attendant son départ pour Paris en 1768. Pierre Le Canu, en relation avec d'Alembert⁶, lui rédigea une lettre de recommandation ; la lettre de réponse de d'Alembert à Le Canu est arrivée jusqu'à nous : « *Il est juste de vous laisser la satisfaction d'annoncer à M. l'abbé de Laplace sa bonne fortune. Vous pouvez lui dire qu'il est sûr d'une place*

⁴ Fonction de gouvernement dans la justice ou les finances

⁵ Christophe Gabbled (1734-1782), professeur de mathématiques et d'hydrographie de l'université de Caen

⁶ Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), mathématicien, physicien, philosophe français et encyclopédiste avec Denis Diderot (1713-1784)

de professeur de mathématique à l'école militaire [...] J'espère que M. l'abbé de Laplace, par son zèle, son assiduité et sa bonne conduite, fera honneur à ma recommandation [...] » [43].

1.2 - Vie parisienne, vie scientifique (1768-1789)

On trouve dans l'éloge prononcé par Joseph Fourier en 1829 au sein de l'Académie des sciences, le récit du premier contact de Laplace avec d'Alembert, alors savant reconnu dans toute l'Europe, [8] :

Il se présenta chez d'Alembert, précédé de recommandations nombreuses, qu'on aurait pu croire très puissantes. Mais ses tentatives furent inutiles : il ne fut même pas introduit. C'est alors qu'il adressa à celui dont il venait de solliciter le suffrage une lettre fort remarquable sur les principes généraux de la mécanique, et dont M. Laplace m'a, plusieurs fois, cité divers fragments. Il était impossible qu'un aussi grand géomètre que d'Alembert ne fût point frappé de la profondeur singulière de cet écrit. Le jour même, il appela l'auteur de la lettre, et lui dit, ce sont ses propres paroles : « Monsieur, vous voyez que je fais assez peu de cas des recommandations ; vous n'en aviez pas besoin. Vous vous êtes fait mieux connaître ; cela me suffit : mon appui vous est dû. » Il obtint, peu de jours après, que Laplace fût nommé professeur de mathématiques à l'École Militaire de Paris.

Ainsi à l'abri financièrement, il se consacre, en dehors des heures d'enseignement, à ses recherches ayant à sa disposition les comptes rendus des sociétés scientifiques européennes se penchant particulièrement sur les travaux de Joseph-Louis de Lagrange⁷ et Leonard Euler⁸.

Laplace propose à l'Académie royale des sciences dès mars 1770, une première contribution sur le calcul des variations que Lagrange vient de perfectionner. Les conclusions des deux savants sont les mêmes, mais pas la méthode que le comité d'évaluation estime *moins directe et rigoureuse en apparence, mais plus simple et plus agréable*. En 1773, à 24 ans, Pierre-Simon de Laplace présente ses travaux en astronomie à l'Académie royale des sciences dans un mémoire démontrant que les mouvements planétaires sont restés voisins de ceux prévus par la théorie de Newton⁹ pour des intervalles de temps longs, vérifiant ainsi la relation jusqu'aux cubes de l'excentricité et de l'inclinaison des orbites.

Il entre à l'Académie royale des sciences en avril 1773, comme adjoint dans la Classe de la mécanique, alors une branche des mathématiques comme l'astronomie ou la physique (la physique d'alors était le terme pour les sciences naturelles). La poste d'adjoint mécanicien est son premier pas dans l'Académie royale des sciences, Laplace sera associé en janvier 1783, puis pensionnaire (donc touchant une pension) de la Classe mathématique en 1785, il a 36 ans. De nombreux articles de Pierre-Simon de Laplace sur certains points du calcul intégral, des différences finies, des équations différentielles et d'astronomie sont proposés dans les Mémoires de l'Académie royale des sciences (jusqu'à la dissolution de l'Académie royale en août 1793) citons [12] :

- Recherches sur le calcul intégral aux différences partielles (1773) ;
- Recherches sur plusieurs points du système du Monde (1776) ;
- Mémoire sur la précession des équinoxes (1777) ;
- Mémoires sur les probabilités, (1778) ;

⁷ Joseph-Louis de Lagrange ou Giuseppe Luigi Lagrangia (1736-1813), mathématicien, mécanicien et astronome naturalisé français en 1802

⁸ Leonhard Euler (1707-1783), mathématicien et physicien suisse

⁹ Isaac Newton (1642-1727), mathématicien, physicien, astronome anglais, père de la mécanique classique, titulaire de la chaire de mathématique à l'Université de Cambridge

- Mémoires sur la détermination des orbites des comètes (1780) ;
- Mémoire sur les approximations des formules qui sont fonctions de très grands nombres (1782-83) ;
- Théorie de Jupiter et de Saturne (1785-86) ;
- Mémoires sur le flux et reflux de la mer (1790).

Les travaux les plus importants de Laplace concernent le calcul des probabilités et la mécanique céleste. Cependant à partir de 1780, il collabore avec Antoine de Lavoisier¹⁰, semble-t-il à la demande de ce dernier¹¹, sur le domaine de la chaleur. Les deux savants établissent que l'action de respirer consomme de l'oxygène, émet du CO² et de l'eau, et dégage de la chaleur se diffusant dans l'organisme. À l'aide d'un calorimètre inventé par Pierre-Simon de Laplace, Lavoisier établira des mesures de la chaleur émise par un corps vivant dans différentes situations. Un *Mémoire sur la chaleur* est publié à l'Académie des sciences en 1780 dont voici les premiers paragraphes (on peut le lire sur [13]) :

Ce mémoire est le résultat des expériences sur la chaleur que nous avons faites en commun, M. de Laplace et moi, pendant l'hiver dernier ; le froid peu considérable de cette saison ne nous a pas permis d'en faire un plus grand nombre. Nous nous étions d'abord proposé d'attendre, avant que de rien publier sur cet objet, qu'un hiver plus froid nous eût mis à portée de les répéter avec tout le soin possible, et de les multiplier davantage ; mais nous nous sommes déterminés à rendre public ce travail, quoique très-imparfait, par cette considération que la méthode dont nous avons fait usage peut être de quelque utilité dans la théorie de la chaleur, et que sa précision et sa généralité pourront la faire adopter par d'autres physiciens qui, placés au nord de l'Europe, ont des hivers très-favorables à ce genre d'expériences.

Nous diviserons ce mémoire en quatre articles : dans le premier, nous exposerons un moyen nouveau pour mesurer la chaleur ; nous présenterons, dans le second, le résultat des principales expériences que nous avons faites par ce moyen ; dans le troisième, nous examinerons les conséquences qui suivent de ces expériences ; enfin, dans le quatrième article, nous traiterons de la combustion et de la respiration.

D'autres publications de leurs travaux sont disponibles à la lecture (un exemple figure 4). Antoine de Lavoisier ne survivra pas à la Terreur¹², alors que Pierre-Simon de Laplace arrivera à s'adapter à chacun des régimes de cette fin de XVIII^e siècle et de la première moitié du XIX^e.

Un an avant le début de la Révolution française, en mai 1788, Pierre-Simon Laplace épouse Marie Anne Charlotte de Courty De Romanges (1769-1862) fille de Jean-Baptiste Courty seigneur de Romanges et Maître de forges en Franche-Comté. Ils auront deux enfants Charles Emile (1789-1874), élève de l'Ecole polytechnique (promotion 1805) il sera militaire, et Sophie Suzanne (1792-1813), mariée à Adolphe François René de Portes (1790-1852), homme politique français, elle meurt à 21 ans lors de la naissance de sa fille.

¹⁰ Antoine de Lavoisier (1743-1794), chimiste, philosophe français, il a une aussi une charge de fermier général (percepteur d'impôts) et sera guillotiné sous la Terreur (1793-94)

¹¹ Lire à ce propos les courriers de Laplace à Lavoisier sur [persee.fr](https://www.persee.fr)

¹² Terreur : période de la Révolution française (1793-1794) où un gouvernement révolutionnaire est mis en place dans le but d'endiguer les nombreux troubles de cette période. Cette période se caractérise par de nombreuses arrestations, procès expéditifs et exécutions.

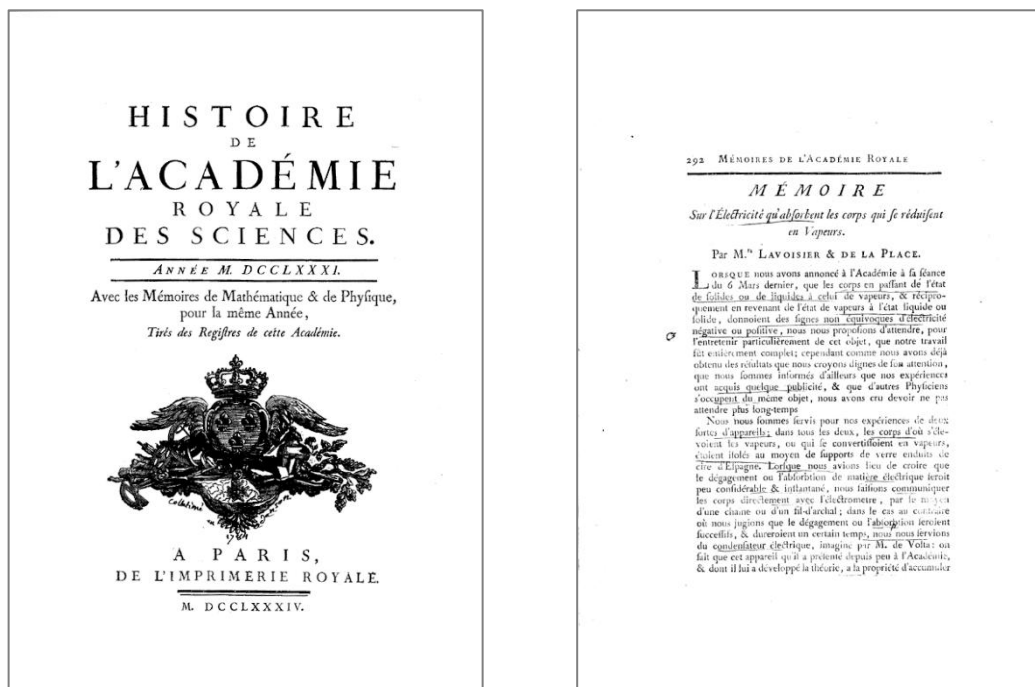


Figure 4 : Histoire de l'académie royale des sciences, année 1781, avec les Mémoires de Mathématiques & de Physique, et première page de « Mémoire sur l'Electricité qu'absorbent les corps qui le réduisent en vapeurs par Mrs. Lavoisier et de la Place », source [14]

1.3 - Période trouble (1789-1794)

Dès les premiers soubresauts de la révolution française, les scientifiques sont impactés comme tous les futurs citoyens français. Certains joueront un rôle, d'autres y perdront la vie ou, comme Laplace, arriveront à revenir sans prendre vraiment part aux événements. Lors des États généraux convoqués par l'encore roi Louis XVI au printemps 1789, les représentants du tiers état se constituent en Assemblée nationale. Les députés s'engagent à ne pas la dissoudre tant qu'une constitution ne sera pas élaborée ; cet engagement, le Serment du Jeu de paume, est immortalisé sur le tableau de Jacques-Louis David¹³ (figure 5), on y voit debout bras levé au centre, Jean Sylvain Bailly¹⁴, académicien et ami de Laplace, lisant le manifeste et premier à prêter serment. Comme Lavoisier, Bailly ne survivra pas à la Terreur [15].



Figure 5 : Le Serment du Jeu de paume par Jacques-Louis David [16]

¹³ Jacques-Louis David (1748-1825), peintre français, député de la Convention,

¹⁴ Jean Sylvain Bailly (1736-1793), mathématicien, astronome, académicien et homme politique français, premier maire de Paris en juillet 1789. Accusé de complicité avec la monarchie, il est arrêté en juillet 1793, jugé par le Tribunal révolutionnaire en novembre et guillotiné.

En 1790, l'Assemblée ratifie d'adoption d'un système décimale de poids et de mesures dans l'optique d'une unification et d'une égalité nationale. Cette importante réforme entraîne des problèmes physique et mathématique auxquels Laplace prend part (voir la ressource « *Du Système métrique au Système international d'unités (SI)* » [27]).

Dans cette fin du XVIII^e siècle, les savants se répartissent dans différentes sensibilités : Lazare Carnot¹⁵, le père de Sadi précurseur de la thermodynamique (voir la ressource « *Sadi Carnot et la naissance de la thermodynamique* » [20]) ou Gaspard Monge¹⁶ sont proches de Robespierre¹⁷, Condorcet¹⁸ siège parmi les Girondins, d'autres sont plus passifs comme Lagrange ou Legendre¹⁹, Laplace, plutôt favorable aux idées de la révolution, n'a pas d'ambition politique ce qui lui a probablement permis de continuer à travailler toute sa vie sous les différents régimes qui vont se succéder de la chute de la monarchie à la Restauration²⁰ en passant par le premier Empire. Laplace continue ses travaux participant également à de nombreuses commissions scientifiques. En 1791, on le retrouve membre du Bureau de consultation des Arts et Métiers, évaluant les brevets et invention, ou de la Commission des poids et mesures. En 1793, l'Académie des sciences est supprimée, les pensionnaires comme Laplace n'ont plus ce revenu, plusieurs membres de la Commission des poids et mesures sont exclus dont Laplace mais aussi Condorcet ou Lavoisier, Laplace est aussi relevé de ses fonctions d'examinateur des cadets de l'artillerie qu'il occupait depuis 1785 [15]. Laplace, son épouse et leurs deux enfants se réfugient à 50 km de Paris, à Melun durant une année mise à profit pour une rédaction importante, objet de cette ressource. La famille Laplace ne rentre à Paris qu'à la fin de la Terreur et avec les deux premiers volumes du *Traité de Mécanique céleste*.

1.4 - Vie scientifique et politique (1794-1827)

Avant 1789, les parents se devaient d'envoyer leurs enfants à l'école, sans que le pouvoir royal ne s'implique ni dans l'organisation ni dans le financement des écoles, principalement tenues par des religieux. L'éducation étant un enjeu important dès le début de la Révolution, le système éducatif de l'ancien régime, celui d'avant 1789, est démantelé. En décembre 1793, une école publique gratuite et obligatoire pour les jeunes enfants, filles et garçons, est mise en place, les enseignants reçoivent un salaire. L'École normale est créée et les prestigieux professeurs qui y enseignent durant un semestre sont Monge, Berthollet²¹ ou de Saint-pierre²², pour en citer quelques-uns, et Laplace qui s'était fixé l'objectif de présenter les découvertes majeures des mathématiques en dix leçons : les huit premières se consacraient à l'arithmétique, l'algèbre, les équations, la géométrie élémentaire et analytique, la neuvième leçon présentait le tout nouveau système métrique décimal et enfin la dernière leçon portait sur la théorie des probabilités et son exemple d'application des mathématiques à la société [15]. C'est également en 1794, que l'École polytechnique, alors appelée Ecole centrale des travaux publics, est créée, centrée sur les études de mathématiques,

¹⁵ Lazare Carnot (1753-1823), mathématicien, physicien et homme d'état français. Il a été un des directeurs de la période du Directoire

¹⁶ Gaspard Monge (1746-1818), mathématicien et homme politique français, un des fondateurs de l'École polytechnique (alors École centrale des travaux publics) où il sera professeur

¹⁷ Maximilien de Robespierre (1758-1794), avocat et homme politique français, membre du club des Jacobins, du Comité de salut public lors de la Terreur, arrêté en juillet 1794 et guillotiné sans procès

¹⁸ Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, marquis de Condorcet (1743-1794), scientifique, mathématicien et homme politique français

¹⁹ Adrien-Marie Legendre (1752-1833), mathématicien français, successeur de Lagrange au Bureau des longitudes

²⁰ Restauration : période de restauration de la monarchie qui suit la chute de Napoléon 1^{er} (1814), et qui est suivie de la monarchie de Juillet (1830).

²¹ Claude-Louis Berthollet (1748-1822), chimiste français, inventeur de l'eau de javel

²² Jacques-Henri Bernardin de Saint-Pierre (1737-1814), écrivain et botaniste français

physique, chimie, nombre de futurs grands scientifiques sortiront de ses rangs. Monge est le fondateur, Laplace élabore les programmes et y sera examinateur.

En 1795, le Directoire²³ crée l'Institut des sciences et des arts, constitué de trois classes : sciences physique et mathématiques, sciences morales et politique, littérature et beaux-arts. La classe Mathématiques comporte trois sections : Géométrie où l'on retrouve Lagrange, Laplace et Legendre, Mécanique où est Monge, et Astronomie. Laplace participe à la fondation de l'Institut, à son organisation, et présente le premier rapport d'activité devant l'Assemblée en 1796.

Il semble que la rencontre entre Laplace et Napoléon Bonaparte date de 1785 lorsque le premier interroge le jeune cadet lors de son examen de sortie de l'école militaire. Le classement de Bonaparte (42^e sur 48 !) n'empêchera pas une carrière militaire qui le vit général à la tête de l'armée française en Italie en 1796. Lors de la campagne d'Italie, Bonaparte était accompagné de deux savants chargés d'estimer œuvres d'art et de sciences concédées par les traités de paix à la France victorieuse, il s'agissait de Monge et Berthollet. En décembre 1795, Bonaparte est admis, sur proposition de Laplace, membre de l'Institut de France dans la classe de Mathématiques en remplacement de Lazare Carnot parti en exil [15].

En 1798, Laplace publie les deux premiers tomes du *Traité de mécanique céleste* rédigé lors de son exil à Melun. En 1799, après le coup d'état du 18 brumaire de l'an VIII²⁴, Bonaparte devient un des trois consuls, puis en 1802, consul unique ; c'est aussi l'année de la publication du tome III de la *Mécanique céleste*. En 1805, ce sera le tome IV. Entre temps en 1804 Napoléon est devenu empereur jusqu'à sa chute en 1814. Cette période est importante pour les sciences et les scientifiques qui ont eu une place inédite et unique dans l'histoire de France. Bonaparte aura de véritables amitiés avec Monge ou Fourier²⁵ et de l'admiration pour Laplace : « *Je désire que les générations futures, en lisant votre Mécanique céleste n'oublient pas l'estime et l'amitié que j'ai portées à son auteur* ». À propos de la publication de l'ouvrage *Théorie analytique des probabilités* (1812), Bonaparte écrit à Laplace : « *Il est un temps où je l'aurais lu avec intérêt, aujourd'hui je dois me borner à vous témoigner la satisfaction que j'éprouve toutes les fois que je vous vois donner de nouveaux ouvrages qui perfectionnent et étendent cette première des sciences. Ils contribuent à l'illustration de la nation. L'avancement et la perfection des mathématiques sont intimement liés à la prospérité de l'État* ».

Au commencement du Consulat²⁶, Laplace est nommé Ministre de l'intérieur, portefeuille qui à cette époque concernait les transports, le commerce, l'industrie, l'hygiène et l'instruction publique. Il y resta à peine un mois et demi remplacé par Lucien Bonaparte, frère du consul. Laplace fut alors nommé sénateur comme Lagrange, Monge ou Berthollet. En 1804, il assiste au sacre de Napoléon 1^{er} ; en 1805, il est décoré de la Légion d'honneur « *Je vous envie vous autres scientifiques, vous devez être heureux de devenir célèbres dans vous tacher de sang* ». En 1808, il devient Comte d'Empire comme Lagrange et Monge, Fourier est Baron et Legendre Chevalier.

En 1806, le couple Laplace achète une demeure à Arcueil, proche de Paris, maison voisine de Berthollet qui y habite depuis 1801 avec bibliothèque et laboratoire. En 1807, les deux scientifiques fondent la *Société d'Arcueil*, cercle de scientifiques qui comprendra une quinzaine de membre dont

²³ Directoire : Régime politique français d'octobre 1795 à novembre 1799, dans lequel les pouvoirs sont répartis entre cinq chefs de gouvernement, les directeurs, dont Lazare Carnot

²⁴ Selon le calendrier révolutionnaire, il s'agit du 9 novembre 1799 dans notre calendrier grégorien

²⁵ Joseph Fourier (1768-1830), mathématicien et physicien français, qui a laissé son nom aux séries

²⁶ Consulat : Régime politique français qui suit de directoire, entre le coup d'état du 18 brumaire an VIII (9 novembre 1799) et la proclamation du premier empire le 18 mai 1804

Biot²⁷, Gay-Lussac²⁸, ou Poisson²⁹, se réunissant le dimanche chez un des deux arcueillais. Trois volumes des *Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil* sont publiés entre 1807 et 1817. La société cessera à la mort de Berthollet en 1822 [15,32,33]. Les deux maisons ont été détruites au début du XX^e siècle.

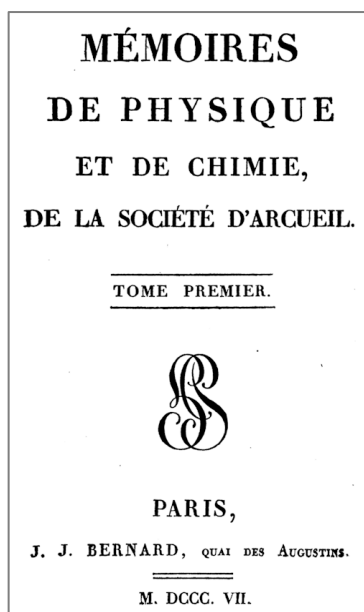


Figure 6 : *Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil*, Tome premier, 1807 [33]



Figure 7 : Caricature de Laplace (à gauche) et Berthollet (à droite) avec l'aqueduc d'Arcueil en fond, par Julien-Léopold Boilly (1796-1874) portraitiste et lithographe [32]

En avril 1814, le sénat, et donc Laplace, vote la déchéance de Napoléon 1^{er}. Louis XVIII, frère cadet de feu Louis XVI, règne sur la France, les scientifiques se rallient plus ou moins rapidement à la Restauration. Certains comme Monge ou Fourier retrouvent des responsabilités auprès de Napoléon au moment de son retour en mars 1815 (Cent-Jours³⁰). Napoléon vaincu à Waterloo en juin 1815 est définitivement exilé, et le retour à la monarchie ne provoque pas une épuration importante des scientifiques. Monge est néanmoins évincé de l'École polytechnique et de l'Académie des sciences. Laplace quant à lui est nommé pair de France, c'est-à-dire membre du nouveau sénat (Chambre des pairs) et sera fait Marquis en 1817, à 68 ans.

En 1823, ce sont les 50 ans de l'entrée de Laplace à l'Académie des sciences, qui, par une grande cérémonie, rend hommage à un grand savant de la science française. En cinq décennies, ne restait témoin de son entrée à l'Académie que Legendre de trois années son cadet, et entré à l'Académie la même année 1783 suite à ses travaux sur la force gravitationnelle des sphéroïdes dont la synthèse et le rapport, élogieux, furent confiés à Laplace. Les remarquables travaux de Legendre, où apparaissent pour la première fois ce qui s'appelle maintenant les *Polynômes de Legendre* [37], inspira Laplace à poursuivre les travaux. Il en rédigea un ouvrage *Théorie du mouvement et de la forme elliptique des planètes* publié dès 1784, dans lequel Legendre n'est pas cité ! Le procédé n'a pas incité les deux hommes à une profonde amitié [15].

En 1825, Laplace, 76 ans, publie le cinquième et dernier tome de la *Mécanique céleste* après avoir consacré beaucoup de ses travaux aux probabilités ; citons quelques-uns de ses ouvrages : *Sur la probabilité des causes par les événements* (1773), *Mémoire sur les probabilités* (1780), *Théorie*

²⁷ Jean -Baptiste Biot (1774-1862), physicien, astronome, mathématicien français

²⁸ Louis-Joseph Gay-Lussac (1778-1850), chimiste et physicien français

²⁹ Siméon Denis Poisson (1781-1840), mathématicien, géomètre, physicien français

³⁰ Cent-Jours : période entre le retour de Napoléon 1^{er} le 1^{er} mars 1815 et sa seconde abdication le 7 juillet

analytique des probabilités (1812), *Essai philosophique sur les probabilités* (1814). Il laisse son nom par exemple à la règle de succession³¹, ou encore à la Règle de Laplace : « *La probabilité [d'un évènement] est le nombre de cas favorables divisé par le nombre de cas possibles.* »

Âgé, Laplace continue de travailler et de participer à des séances de travail. Il tombe malade en février 1827 après une séance au Bureau des longitudes et meurt le 5 mars 1827. Deux jours plus tôt, lors de la visite de Poisson auprès de Laplace alité, ce dernier dit : « *Ce que nous savons est peu de chose, ce que nous ignorons est immense... L'homme ne poursuit que des chimères* » [15].

2 - La connaissance du Monde à l'époque moderne³²

L'apport majeur de Laplace en cette fin du XVIII^e siècle est de démontrer que le système solaire et l'univers alors connu, étaient stables et déterministes. Ainsi on pouvait faire correspondre observations et théorie, et comprendre l'univers dans son ensemble en s'appuyant sur des principes rationnels, tel le principe de gravitation universelle de Newton. Comme nous l'avons déjà mentionné, en 1773, lors de la présentation de ses travaux à l'Académie royale des sciences, Laplace démontre que les mouvements planétaires sont restés voisins de ceux prévus par la théorie de Newton pour des intervalles de temps longs. Il faut ici revenir sur l'état de connaissance de cette science dans le dernier quart du XVIII^e siècle.

La connaissance de l'univers dans ce XVIII^e siècle était discutée entre deux mécaniques très différentes proposées par deux grands savants dans des publications du siècle précédent : celle de René Descartes³³ dans ses *Principes de la philosophie* de 1644 et celle d'Isaac Newton dans ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* en 1687, ouvrages publiés en latin (figure 8).

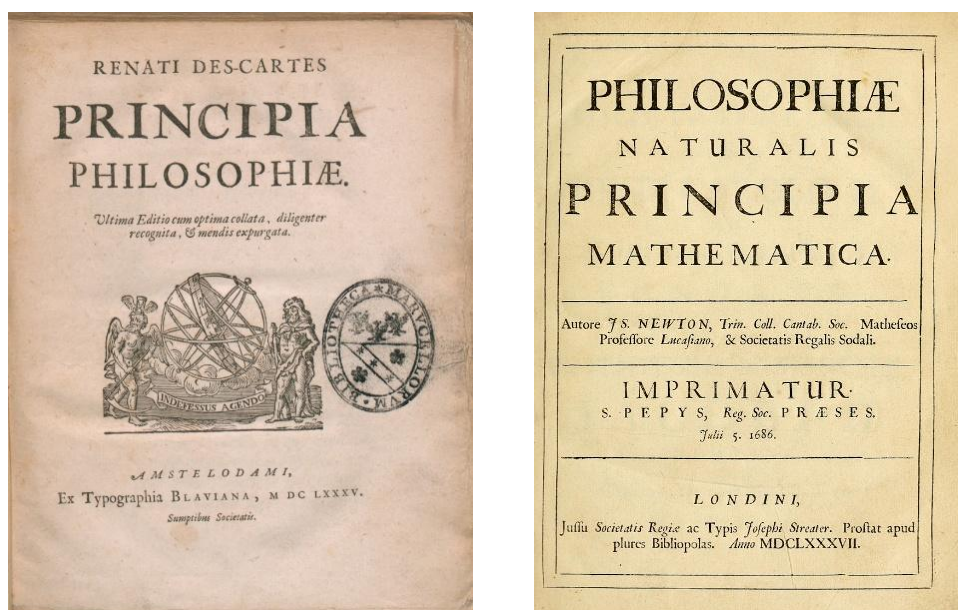


Figure 8 : Pages de garde de *Principia Philosophiæ* (édition de 1685) de René Descartes et couverture de *Philosophiæ naturalis principia mathematica* d'Isaac Newton (1687) [commons.wikimedia]

L'astronomie mécanique n'est pas une astronomie d'observation, mais une science de calculs mathématiques pour expliquer le fonctionnement du système solaire avec rigueur dans l'idée que

³¹ Règle de succession de Laplace : « *Un évènement étant arrivé de suite, un nombre quelconque de fois ; la probabilité qu'il arrivera encore la fois suivante est égale à ce nombre augmenté de l'unité, divisé par le même nombre augmenté de deux unités.* »

³² Époque moderne : époque historique qui commence à la fin du moyen âge (fin du XV^e siècle) et qui se termine avec la révolution française (1789)

³³ René Descartes (1596-1650), mathématicien, physicien et philosophe français

la nature pouvait être traduite dans le langage mathématique de l'époque. Ainsi la rotation des planètes, leurs satellites, les orbites, les comètes, la forme même de la Terre, les marées, l'explication de la gravité, etc., étaient les préalables à la validation de l'une ou l'autre des théories cartésienne et newtonienne.

2.1 - Tourbillons vs gravitation universelle

L'univers proposé par Descartes n'a pas de vide, il est entièrement composé de matière, celle des planètes et comètes, celle des étoiles et du soleil, et enfin celle du ciel, l'espace interplanétaire, l'éther. Les mouvements des planètes seraient dus aux tourbillons générés par les mouvements circulaires des particules d'éther, sorte de globules transparents, qui remplissent l'espace. Pour compléter l'explication, une main divine aurait donné à sa création un mouvement qui anime l'ensemble des corps et se conserve lors des chocs entre ceux-ci. Chaque particule de matière, heurtée par une autre, se dirige en ligne droite en tournant sur elle-même donnant naissance à des tourbillons. Autour d'une étoile centrale, le courant de matière y entraîne planètes et satellites. En périphérie les comètes traversent plusieurs tourbillons (figure 9). Descartes décède en 1650, peu de temps après, le vide est mis en évidence.

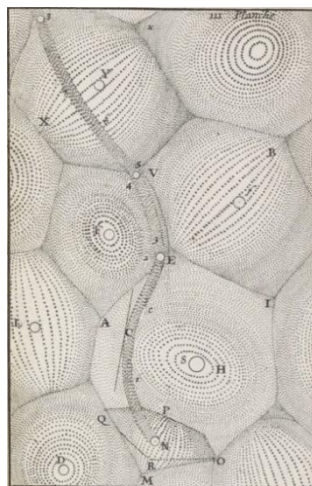


Figure 9 : Planche 3 des « Principes de la philosophie écrits en latin par René Descartes et traduits en français par un de ces amis », édition de 1647 [42]

Plus de quarante ans après l'ouvrage de Descartes, Newton publie son ouvrage posant les principes fondamentaux de la science du mouvement. En s'appuyant sur les travaux de Kepler³⁴, Newton pose la loi de l'attraction universelle qui énonce que deux corps de l'univers s'attirent avec une force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare, et que cette force agit le long de la direction qui les joint. Newton expliquait le mouvement des planètes et l'attraction gravitationnelle des corps vers la Terre.

2.2 - Les comètes

Les comètes étaient au cœur de la polémique entre les deux mécaniques. Les comètes ont été considérées comme des phénomènes atmosphériques purs, leurs cycles permettant de les voir au

³⁴ Johannes Kepler (1571-1630), astronome allemand célèbre pour avoir découvert les trois relations mathématiques publiées en 1609 et 1618, devenues les *lois de Kepler*, qui gouvernent les mouvements des planètes sur leur orbite autour du soleil

- Loi des orbites : Les planètes du système solaire décrivent des trajectoires elliptiques, dont le Soleil occupe l'un des foyers

- Loi des aires : Des aires égales sont balayées dans des temps égaux

- Loi des périodes : Le carré de la période sidérale d'une planète (temps entre deux passages successifs devant une étoile) est directement proportionnel au cube du demi-grand axe de la trajectoire elliptique de la planète

plus une fois à l'échelle d'une vie. Pour Descartes, les comètes traversent les tourbillons sans pour autant être aspirées par eux. Newton affirmait que les comètes, également soumises à la loi de gravitation, avaient des trajectoires en orbites fermées qui donc entraînaient leurs réapparitions régulières, et non leur perte dans l'univers une fois passées. Démontrer leurs trajectoires signifiait réfuter la théorie de Descartes.

En 1682, cinq ans avant la publication des écrits de Newton, Edmund Halley³⁵ observe le passage d'une comète. Il rencontre Newton deux ans plus tard, et partagent amitié et travaux sur les orbites de comètes qu'ils pensent similaires à celles des planètes. Mais ce n'est que vers l'année 1695 que Halley recense tous les passages de comètes documentés de 1337 à 1698, ce qui correspond à 24 comètes. Les données orbitales isolées lui font penser que la comète vue en 1682 avait déjà été observée en 1531 par Apien³⁶ puis en 1607 par Kepler, il en déduit une périodicité qu'il estime à environ 76 années. En 1705, Halley publie son travail dans *A Synopsis of the Astronomy of Comets* (Synopsis de l'astronomie des comètes, figure 10). Il énonce que les trois observations de comètes ne correspondaient qu'à une seule et même comète, et prédit scientifiquement son retour à la fin de l'année 1758 ou début 1759. Halley aurait plus de 100 ans à ce passage, il savait donc qu'il ne verrait pas à nouveau la comète. La comète, qui porte maintenant le nom de Halley, est passée le 25 décembre 1758, confirmant ses calculs basés sur la théorie de Newton.

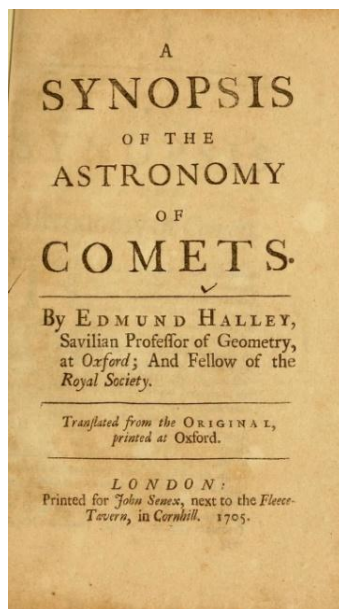


Figure 10 : Couverture de *A Synopsis of the Astronomy of Comets* de Edmund Halley (1705) [46]

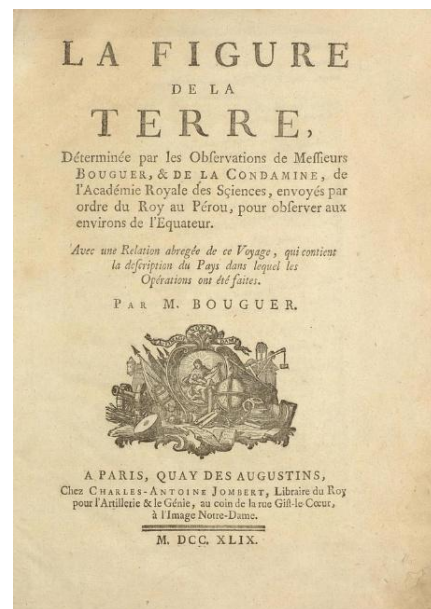


Figure 11 : Page de Garde de *Figure de la terre* de Pierre Bouguer (1746) [51]

2.3 - La forme de la Terre

La forme de la Terre depuis l'antiquité grecque, était affirmée sphérique. Les explorateurs et navigateurs des XV^e et XVI^e siècles ont pu largement vérifier la rotondité de notre planète. Mais au XVIII^e siècle, la forme exacte de la Terre était-elle une sphère aplatie aux pôles comme l'affirmait Newton, ou selon la théorie des tourbillons des cartésiens, une sphère aplatie à l'équateur ?

En 1733, Louis Godin³⁷ propose une mesure d'un degré d'arc de méridien sur l'équateur. Il conduit l'expédition partie en 1735 jusqu'en Équateur, alors division de la Vice-royauté du Pérou, avec

³⁵ Edmund Halley (1656-1742), astronome et ingénieur britannique

³⁶ Peter Apian (1495-1552), astronome et mathématicien allemand

³⁷ Louis Godin (1704-1760), astronome français membre de l'Académie royale des sciences

Charles Marie de La Condamine³⁸, Pierre Bouguer³⁹ et Joseph de Jussieu⁴⁰ (Godin et Jussieu resteront en Amérique du sud plusieurs années). Le rapport de cette expédition est publié en 1746 par Bouguer dans *La figure de la Terre* (figure 11) et abonde dans le sens de Newton. Pierre Louis Moreau de Maupertuis⁴¹ membre de l'Académie royale des sciences et également de la Royal Society, est un fervent Newtonien dont il est le premier à défendre les idées en France où les savants sont alors majoritairement cartésiens. Dès 1732 son *Discours sur les différentes figures des astres* prend clairement position pour les théories de Newton. En 1736, Maupertuis conduit une expédition en Laponie avec Alexis Claude Clairaut⁴² et Anders Celsius⁴³ pour mesurer un degré d'arc de méridien. Rapidement de retour en 1737, Maupertuis et Clairaut, devant l'Académie royale des sciences, annoncent que leurs mesures de ce degré voisin du pôle Nord, étant plus petite que la valeur du degré mesuré entre Amiens et Paris quelques années auparavant, la Terre est un sphéroïde aplati aux pôles, Newton a donc raison !

Si la loi de gravitation de Newton permettait de calculer et prédire, elle restait mystérieuse en particulier sur l'origine de la force gravitationnelle. Les tourbillons de Descartes étaient plus matérialistes et rassurants. À partir de 1745, Émilie du Châtelet⁴⁴, proche de Maupertuis et Clairaut, une des premières et brillantes scientifiques de l'époque moderne, entreprend la traduction en français de l'ouvrage de Newton *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Si les milieux savants de ce XVIII^e siècle maîtrisaient parfaitement le latin, ce n'était pas le cas de l'élite aristocratique. Du Châtelet s'attela à transcrire fidèlement à la fois la rigueur démonstrative et le vocabulaire conceptuel de la pensée newtonienne, modernisant la présentation par des approches analytiques, permises par les progrès du calcul différentiel, là où Newton recourait encore largement aux raisonnements par figures géométriques. Sa rédaction n'est pas une simple traduction transposée dans le langage scientifique de son temps, mais du Châtelet entreprend également la rédaction d'une présentation didactique du modèle astronomique newtonien, et une prolongation des méthodes de Newton appliquées aux trajectoires des astres ou au phénomène des marées océaniques. Du Châtelet meurt en septembre 1749 des suites d'un accouchement, son manuscrit est à peine terminé, il sera publié post mortem sous le titre *Principes mathématiques de la philosophie naturelle par feu Madame la Marquise du Châtelet* et est encore de nos jours, une traduction qui fait autorité. On peut le lire sur le site de la BnF [54].

2.4 - Les anomalies séculaires

Newton établit donc que les planètes gravitent vers le soleil comme les satellites gravitent vers leurs planètes. La planète Terre devait donc tracer une ellipse parfaite autour de son astre. Cependant chaque corps soumis à la gravitation du soleil est aussi soumis à l'interaction des autres corps. Newton établit donc que les ellipses n'étaient pas si parfaites et présentaient des perturbations dans leurs trajectoires avec le risque qu'elles s'écartent du chemin naturel. Ainsi le système solaire ne serait pas stable, ce fut une des grandes questions du XVIII^e siècle.

Newton dans sa publication de 1687 propose une résolution géométrique du problème à deux corps, soit deux sphères se déplaçant sous l'action de la pesanteur. Daniel Bernoulli⁴⁵, un des grands

³⁸ Charles Marie de La Condamine (1701-1774), explorateur et scientifique français

³⁹ Pierre Bouguer (1698-1758), mathématicien, physicien et géodésique français

⁴⁰ Joseph de Jussieu (1704-1779), botaniste français

⁴¹ Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), mathématicien, physicien et astronome français

⁴² Alexis Claude Clairaut (1712-1765), mathématicien français

⁴³ Anders Celsius (1701-1744), savant suédois dont le nom est resté pour l'échelle de température

⁴⁴ Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet (1706-1749), femme de lettre, mathématicienne et physicienne française

⁴⁵ Daniel Bernoulli (1700-1782), médecin, physicien et mathématicien suisse fils de Jean I Bernoulli.

scientifiques de cette belle famille (voir « La famille Bernoulli, lequel a fait quoi ? » [55]) en fit la démonstration analytique en 1734. Avant de résoudre le problème à n corps « *étant donné n corps de masses massiques soumise à l'attraction gravitationnelle mutuelle, quel est le mouvement de chacun d'entre eux dans l'espace* », il s'agissait de commencer par résoudre le problème à trois corps, pour comprendre les trajectoires du système formé par le Soleil, la Terre et la Lune. En 1760 le grand Leonhart Euler⁴⁶ étudia de façon générale le problème à 3 corps se déplaçant sous l'action de l'attraction mutuelle pour en penser que dans le cas particulier de la Lune *Le problème se réduit à trois équations, qui non seulement ne peuvent être intégrées d'aucune manière, mais pour lesquelles il est également fort difficile de faire des approximations.*

La difficulté de résoudre ces problèmes de grande complexité donna deux axes de travaux : chercher des solutions particulières exactes, ou des solutions générales approximatives qui puissent fonctionner au moins un temps. Ce problème occupa un grand nombre de savants, Joseph-Louis Lagrange présenta à un prix de l'Académie des sciences, un *Essai sur le problème des trois corps* en 1772, qui proposait une fonction exprimée en série pour solution générale des équation différentielles du problème. Mais Lagrange proposa également des solutions exactes dans des cas particuliers par exemple lorsque deux des trois corps présentent une masse très grande et que les trois corps sont dans une configuration spatiale particulière, en particulier lorsqu'ils se trouvent au sommet d'un triangle équilatéral. Lagrange définit ainsi, ce qui s'appelle aujourd'hui les points de Lagrange, zones de stabilité pour le petit corps. Au XVIII^e siècle, cette solution n'était qu'un cas de calcul, mais au début du XX^e siècle, les astronomes découvrent que la nuée d'astéroïdes situés sur l'orbite de Jupiter, *Astéroïdes troyens et grecs* (figure 12), répondent avec le Soleil et Jupiter exactement à cette configuration !

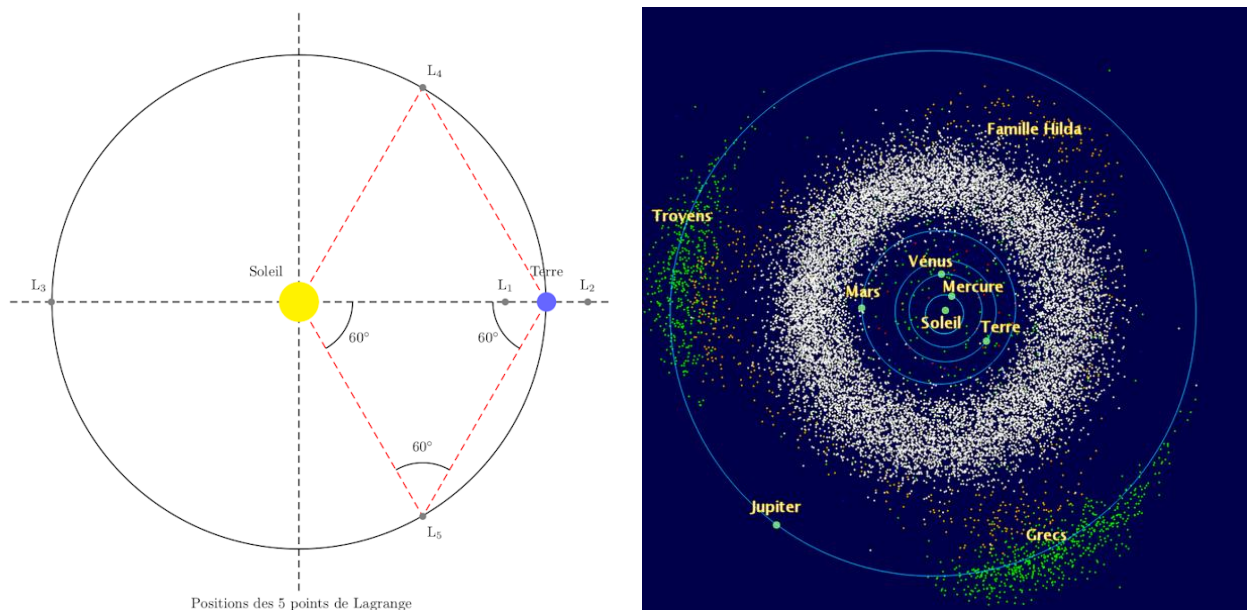


Figure 12 : Les 5 points de Lagrange et configuration des astéroïdes de Jupiter troyens et grecs (en vert)

Prendre en compte l'effet prépondérant de la force d'attraction du soleil, compte tenu de sa masse très importante, permet d'affirmer que les trajectoires sont des ellipses pour tous les corps qui tournent autour de lui. Mais comment expliquer les inégalités de mouvement de notre satellite, ou de toutes les autres grandes planètes du système solaire ? Certes ajouter l'attraction des autres planètes perturbe la trajectoire elliptique parfaite, provoque déviation et déséquilibre, mais ces perturbations se cumulent-elles ou se compensent-elles au cours du temps ? Les perturbations séculaires (observables sur plusieurs siècles) sont-elles dans le même sens ou périodiques ? Dans ce

⁴⁶ Leonhart Euler (1707-1783), mathématicien et physicien suisse

cas, les altérations de l'orbite d'une planète se font dans un sens, puis dans l'autre, en se compensant. Alors que dans le cas de variations séculaires dans un seul sens, leur accumulation indéfiniment, et lentement, entraîne irrémédiablement que la planète quitte son orbite elliptique, et que le système solaire soit déstabilisé, et donc le système solaire est-il stable ou non ?

3 - Les trajectoires stables de Saturne et Jupiter

Laplace est convaincu que les principales perturbations de forme et de position des orbites planétaires sont périodiques, que ce sont des oscillations à l'intérieur de valeurs moyennes toujours circonscrites dans des limites, et il se penche sur les anomalies observées dans les mouvements de Saturne et Jupiter. Au cours du XVII^e siècle, Halley avait constaté une accélération du mouvement de Jupiter alors même que celui de Saturne semble ralentir : si ce phénomène persistait, l'une serait expulsée du système solaire alors que l'autre entrerait en collision avec le Soleil.

Comme Lagrange, Laplace s'oriente vers des solutions particulières approchées plutôt que des solutions analytiques exactes aux problèmes à trois corps, ainsi il travaille au problème majeur de la régularité des mouvements des planètes dans le système solaire pour lequel il publie deux mémoires importants au milieu des années 1780, *Sur les perturbations séculaires des planètes et des satellites* et *Théorie de Jupiter et de Saturne*.

En se basant sur la loi de gravitation universelle de Newton, on pouvait prévoir les perturbations séculaires de Jupiter et Saturne et ainsi connaître leurs états antérieurs et prédire leurs états futurs : l'accélération de l'une et la décélération de l'autre étaient la conséquence de leur action réciproque, et leurs perturbations séculaires étaient périodiques sur un cycle de plusieurs siècles. Laplace constata que cinq fois la période de révolution de Jupiter représenterait environ deux fois la période de révolution de Saturne, et en prenant en compte ces multiplicateurs, la différence de ces deux périodes rendait nulle l'équation de leurs perturbations séculaires. Donc durant 450 ans, une planète ralentissait alors que l'autre accélérât, puis dans les 450 années suivantes c'était le contraire : les irrégularités sont donc périodiques même si sur neuf siècles ! Ce qui était impossible à constater sur une vie de savant et même sur quelques siècles. Pour arriver à ce résultat, Laplace utilise des méthodes d'approximation que nous allons essayer d'imager sans entrer dans les détails. Il considère que l'orbite réelle d'une planète est une orbite elliptique à qui il fallait ajouter les effets de perturbations dont les composantes sont à identifier (figure 13). Comme les équations différentielles régissant les mouvements d'un système à plusieurs corps ne sont pas linéaires pour trouver des solutions, Laplace calcule la solution pour un système à deux corps (équation différentielle linéaire), puis perturbe le résultat de ce calcul avec la présence du troisième corps. Ainsi la solution du problème réel, donc perturbé et non linéaire, est exprimée comme une variation de la solution du problème normal, sans perturbation et linéaire.

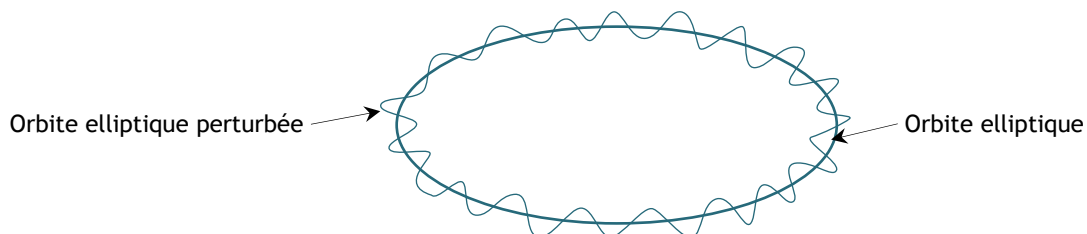


Figure 13 : Illustration de l'orbite d'une planète, d'après [15]

Le degré de perturbations supposées périodiques était à déterminer. Laplace ne garde alors que les composantes principales des équations de perturbations, c'est-à-dire les premiers selon le rapport de masse de la planète à celle du Soleil, les autres termes sont négligés. Les solutions obtenues sont donc des solutions approchées, non exactes, mais appuyées par plusieurs faits comme la prépondérance du Soleil dont la masse représente plus de 99% de la masse totale du système

solaire. Ce fait entraîne que les orbites des planètes sont quasi elliptiques, par leur faible force perturbatrice en regard de l'attraction du soleil. Autre fait, Jupiter et Saturne sont les plus importantes planètes en taille et masse, celle de Jupiter représente 70% de la masse totale des planètes. Leurs perturbations ont donc une influence à prendre en compte dans les mouvements des planètes en particulier dans le problème à trois corps Soleil-Jupiter-Saturne.

4 - Le mouvement de la Lune et la stabilité du système solaire

Le satellite de la Terre par sa proximité a toujours été l'objet d'études. Ainsi à la fin du XVII^e siècle, Halley constatait que le mouvement moyen de la Lune accélérât par rapport aux calculs des grecs antiques. Ce qui renforçait l'idée que notre satellite pouvait ne pas avoir une trajectoire régulière et s'éloigner vers le Soleil ou encore s'écraser sur la Terre ! À la fin du XVIII^e siècle, le système solaire est composé du Soleil, de sept planètes connues et de leurs satellites, et pour déterminer son état dans une année ou plusieurs siècles, les savants se heurtent au problème à n corps qu'il n'est pas possible de résoudre. Or la stabilité ou non du système solaire est au cœur de ce problème et des inquiétudes du XVII^e siècle. Au siècle précédent, le grand Newton faisait intervenir une « main divine » pour remettre les planètes dans leurs ellipses si elles venaient à subir trop de perturbations.

La lune est soumise à l'attraction de la Terre, lui permettant ainsi une trajectoire elliptique, mais l'attraction gravitationnelle du Soleil la dévie. C'est un nouveau problème à trois corps. Dès 1764, Lagrange avait montré la périodicité du mouvement de balancier de la Lune, qui nous permet de voir 9% de sa face cachée. Laplace se penche sur les autres anomalies du mouvement de la Lune, et trouve des solutions approchées en s'appuyant sur le fait que l'attraction du Soleil, du fait de son éloignement du système Terre-Lune, n'avait qu'une influence mineure. Juste avant la Révolution Française, Laplace publie des mémoires *Sur l'équation séculaire de la lune* qui démontrent que l'accélération du mouvement de la Lune constatée ces derniers siècles, était due à la variation de l'excentricité de l'orbite de la Terre ; celle-ci étant périodique, la variation de la vitesse de la Lune l'est également, et notre satellite ralentira⁴⁷.

Laplace réussit donc à démontrer que les variations dans les excentricités et les inclinaisons des orbites des planètes et de leurs satellites, sont infimes et toujours circonscrites dans des limites. Les effets des perturbations sont périodiques et les anomalies constatées à l'échelle de temps de l'homme, c'est-à-dire un temps court, disparaissaient lorsque l'on se place dans des périodes de temps longs. Les travaux de Laplace, comme ceux de Lagrange, s'appuient sur l'analyse des équations et sur la loi de gravitation universelle de Newton, les anomalies sont donc expliquées et la stabilité du système solaire démontrée (sans recours à une aide divine !).

5 - Traité de mécanique céleste

Durant la fin du XVIII^e siècle, Pierre-Simon Laplace entreprend un travail considérable de synthèse des découvertes dans le domaine de l'astronomie et en les transcrivant dans le langage analytique. Ce travail monumental, dont sera issue l'expression *mécanique céleste*, présente ses découvertes mais également celles de Newton, Clairaut, D'Alembert, Euler ou encore Lagrange sans pour autant clairement les citer. Le *Traité de mécanique céleste* est composé de cinq volumes. Les deux premiers sont publiés en 1798 (an VII) à son retour d'exil à Melun (section 1.3), le troisième est

⁴⁷ Note : Dès le XIX^e siècle, l'explication des anomalies séculaires de la Lune causée par l'oscillation de l'excentricité de la Terre donnée par Laplace, ne donnait qu'une partie de l'origine de l'accélération de la Lune. Laplace se pencha lui-même sur la question à plusieurs reprises entre 1809 et 1827, année de son décès, sans arriver à la solution.

édité en 1802, suivi par le quatrième en 1805. Le cinquième et dernier volume est publié en 1825. Chacun des volumes contient des livres dont les titres se trouvent ci-après et permettent de suivre le cheminement du travail de Laplace [38] :

- Tome I (figure 14) :
 - Livre I. Des lois générales de l'équilibre et du mouvement
 - Livre II. De la loi pesanteur universelle, et du mouvement des centres de gravité des corps célestes
- Tome II :
 - Livre III. De la figure des corps céleste
 - Livre IV. Des oscillations de la mer et de l'atmosphère
 - Livre V. Des mouvements des corps célestes, autour de leurs propres centres de gravité
- Tome III :
 - Livre VI. Théorie particulière des mouvements célestes
 - Livre VII. Théorie de la lune
- Tome IV :
 - Livre VIII. Théorie des satellites de Jupiter, de Saturne et d'Uranus
 - Livre IX. Théorie des comètes
 - Livre X.
- Tome V :
 - Livre XI. De la figure et de la rotation de la terre
 - Livre XII. De l'attraction et de la répulsion des sphères, et des lois de l'équilibre et du mouvement des fluides élastiques
 - Livre XIII. Des oscillations des fluides qui recouvrent les planètes
 - Livre XIV. Des mouvements des corps célestes autour de leurs centres de gravité
 - Livre XV. Du mouvement des planètes et des comètes
 - Livre XVI. Du mouvement des satellites

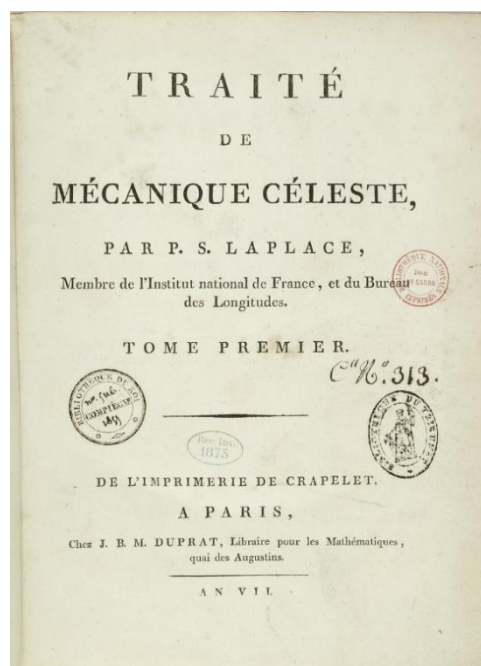


Figure 14 : *Traité de Mécanique céleste* de Pierre Simon Laplace, an VII (1798) page de garde du tome premier [39]

Le Traité de mécanique céleste est un ouvrage à destination des spécialistes, rédigé selon les principes du langage analytique moderne, synthétisant de manière systématique et rationnelle tous les résultats obtenus dans le siècle finissant. Ainsi Laplace présente toutes les questions astronomiques résolues dans les années précédentes, le problème est décrit par une équation différentielle ensuite résolue sous forme d'une série entière, en omettant quelques fois les étapes des approximations réalisées. *Le Traité de mécanique céleste* contient également des données concrètes issues d'observation et de calculs d'élèves brillants comme Alexis Bouvard⁴⁸, Jean-Baptiste Biot ou encore Siméon-Denis Poisson.

Laplace veut prouver que tous les phénomènes célestes peuvent s'expliquer par la seule loi de l'attraction universelle et découler d'elle, ainsi, tel mantra, chaque page répète que cette loi est bien celle qui régit le système solaire. Son travail permet d'améliorer les éphémérides astronomiques, ainsi que les tables des positions des planètes indispensables à la navigation en haute mer.

⁴⁸ Alexis Bouvard (1767-1843), astronome français, père de l'hypothèse d'une 8^{ième} planète perturbant l'orbite d'Uranus (la future Neptune dont la position a été calculée par Le Verrier en 1846)

Auteur de cette synthèse magistrale très complète des connaissances en astronomie, Laplace a été porté aux nues à la publication des premiers tomes. L'ouvrage a également fait l'objet de traduction en allemand dans un premier temps puis en anglais. Cependant plusieurs décennies plus tard, certains résultats ont dû être révisés⁴⁹, et le *Traité de mécanique céleste*, même s'il a longtemps dominé la science du XIX^e, n'y a pas survécu : en 1892, Henri Poincaré⁵⁰ publie *Les nouvelles méthodes de la mécanique céleste, introduisant la théorie du chaos montrant la sensibilité extrême des mouvements des corps célestes aux données initiales*. Au début du XX^e siècle, Albert Einstein⁵¹ bouscule le concept de gravité avec une nouvelle théorie de l'Univers.

Les cinq tomes étant fort denses et copieux, nous proposons d'examiner les préfaces afin de déceler les intentions de Laplace lors de ces publications.

5.1 - Tomes I et II

La préface du Tome I est relativement courte, elle peut se lire sur le site de la BnF [63]. Les intentions de Laplace quant aux contenus de ses travaux y sont clairement exprimées :

« Newton publia, vers la fin du dernier siècle, la découverte de la pesanteur universelle. Depuis cette époque, les Géomètres sont parvenus à ramener à cette grande loi de la nature, tous les phénomènes connus du système du monde, et à donner ainsi aux théories et aux tables astronomiques, une précision inespérée. Je me propose de présenter sous un même point de vue, ces théories éparses dans un grand nombre d'ouvrages, et dont l'ensemble embrassant tous les résultats de la gravitation universelle, sur l'équilibre et sur les mouvements des corps solides et fluides qui composent le système solaire et les systèmes semblables répandus dans l'immensité des cieux, forme *la Mécanique céleste*. L'Astronomie, considérée de la manière la plus générale, est un grand problème de mécanique ; dont les éléments des mouvements célestes sont les arbitraires ; sa solution dépend à-la-fois de l'exactitude des observations et de la perfection de l'analyse, et il comporte extrêmement d'en bannir tout empirisme, et de la réduire à n'emprunter de l'observation, que les données indispensables. C'est à remplir autant qu'il m'a été possible, un objet aussi intéressant, que cet ouvrage est destiné. [...] » (figure 15).

⁴⁹ Note : Laplace pensait que la solution des équations différentielles du problème à trois corps découlait d'une série convergente, une somme infinie de fonctions dépendantes de paramètres orbitaux ou de la masse de la planète. Dans sa perspective de réponse approchée, Laplace ne garde qu'une partie des termes de la série infinie. En évaluant seulement les termes principaux, les autres n'ayant que peu d'effets, Laplace pensait obtenir des estimations approchées et raisonnables. Ses travaux s'appuyaient sur des séries de puissances, somme infinie de fonctions de puissances successives de l'inverse de la masse du Soleil : au premier terme, on trouve l'inverse de la masse, au deuxième, le carré de l'inverse de la masse, au troisième, le cube etc. Le ratio de la masse d'une planète ramené à celle du Soleil est de l'ordre de 10^{-4} , au carré il est donc de 10^{-8} , ce que Laplace décide négliger en ne considérant que le premier terme de la somme, une réponse avec une approximation de premier ordre est déjà de qualité même si celle-ci augmente avec le nombre de termes pris en compte. Au XIX^e siècle, les mathématiciens démontreront que les séries de la mécanique célestes proposées au siècle précédent, et donc par Laplace, n'étaient pas convergentes, et que leur résultat tendait vers l'infini. Ainsi les termes négligés, bien que minimes, n'étaient pas négligeables, et que sur des périodes longues, leurs effets pouvaient être considérables, ce dont Laplace était conscient. En 1856, Urbain Le Verrier (1811-1877, astronome et mathématicien français, découvreur par le calcul de la planète Neptune en 1846) montre que les effets des termes jusque-là négligés avaient des effets significatifs et qu'en conséquence, les solutions approchées ne pouvaient démontrer la stabilité du système solaire au-delà d'un temps. A la fin du XIX^e siècle, Henri Poincaré démontre que les résultats de Laplace étaient valides avec une approximation de la masse des planètes au deuxième ordre mais pas au troisième. Les termes, si infimes étaient-ils, négligés par Laplace pouvaient avoir un effet considérable et déstabiliser les orbites.

⁵⁰ Henri Poincaré (1854-1912), mathématicien, physicien et ingénieur français

⁵¹ Albert Einstein (1879-1955), physicien helvético-américain, père de la *Relativité restreinte* (1905)

Les travaux de Newton, nom cité en tout début de la première phrase, sont la trame de son ouvrage. Toutes les avancées faites depuis vont être présentées avec rigueur, unifiées et réunies. La toute fin du Tome I se termine par ces mots :

« [...] Après avoir donné les méthodes et les formules pour déterminer par des approximations successives, les mouvemens des centres de gravité des corps célestes; il nous reste à les appliquer aux différens corps du système solaire : mais l'ellipticité de ces corps influant d'une manière sensible, sur les mouvemens de plusieurs d'entre eux, il convient, avant d'en venir aux applications numériques, de nous occuper de la figure des corps célestes, dont la considération est d'ailleurs aussi intéressante par elle-même que par leurs mouvemens. » [63]

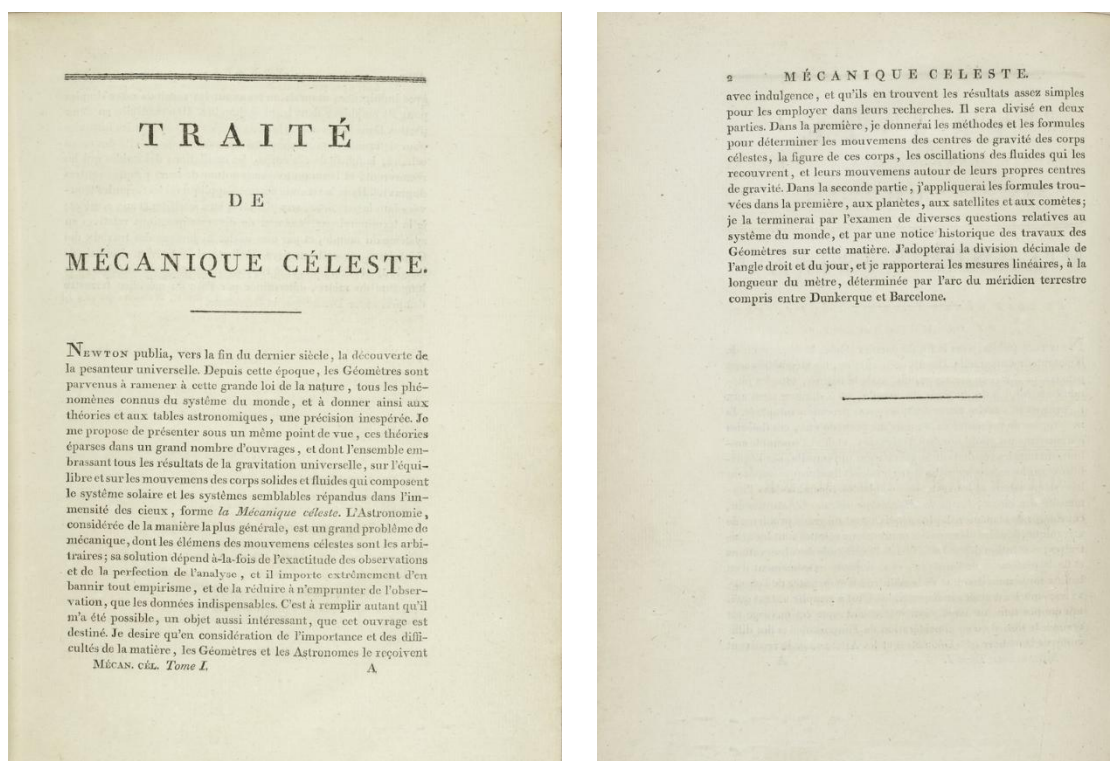


Figure 15 : Préface du Tome I du Traité de mécanique céleste [63]

Le tome II, publié en même temps que le tome I, commence par une préface plus technique, que l'on peut lire sur le site de la BnF [64] :

« La figure des corps célestes dépend de la loi de pesanteur à leur surface, et cette pesanteur étant elle-même le résultat des attractions de toutes leurs parties, elle dépend de leur figure ; la loi de pesanteur à la surface des corps célestes, et leur figure ont donc entre elles, une liaison réciproque qui la connoissance de l'une, nécessaire à la détermination de l'autre : leur recherche est ainsi très-épineuse, et semble exiger une analyse toute particulière. Si les planètes étoient entièrement solides, elles pourroient avoir des figures quelconques ; mais si, comme la terre, elles sont recouvertes d'un fluide ; toutes les parties de ce fluide doivent se disposer de manière qu'il soit en équilibre, et la figure de sa surface extérieure dépend de celle du noyau qu'il recouvre, et des forces qui l'animent. Nous supposerons généralement tous les corps célestes recouverts d'un fluide, et dans cette hypothèse qui a lieu pour la terre, et qu'il paroît naturel d'étendre aux autres corps du système du monde, nous déterminerons leur figure et la loi de pesanteur à leur surface. L'analyse dont nous ferons usage, est une application singulière du calcul aux différences partielles, qui par de simples différentiations, va nous conduire à des résultats très-étendus que l'on peut obtenir que difficilement par la voie des intégrations. » (figure16).

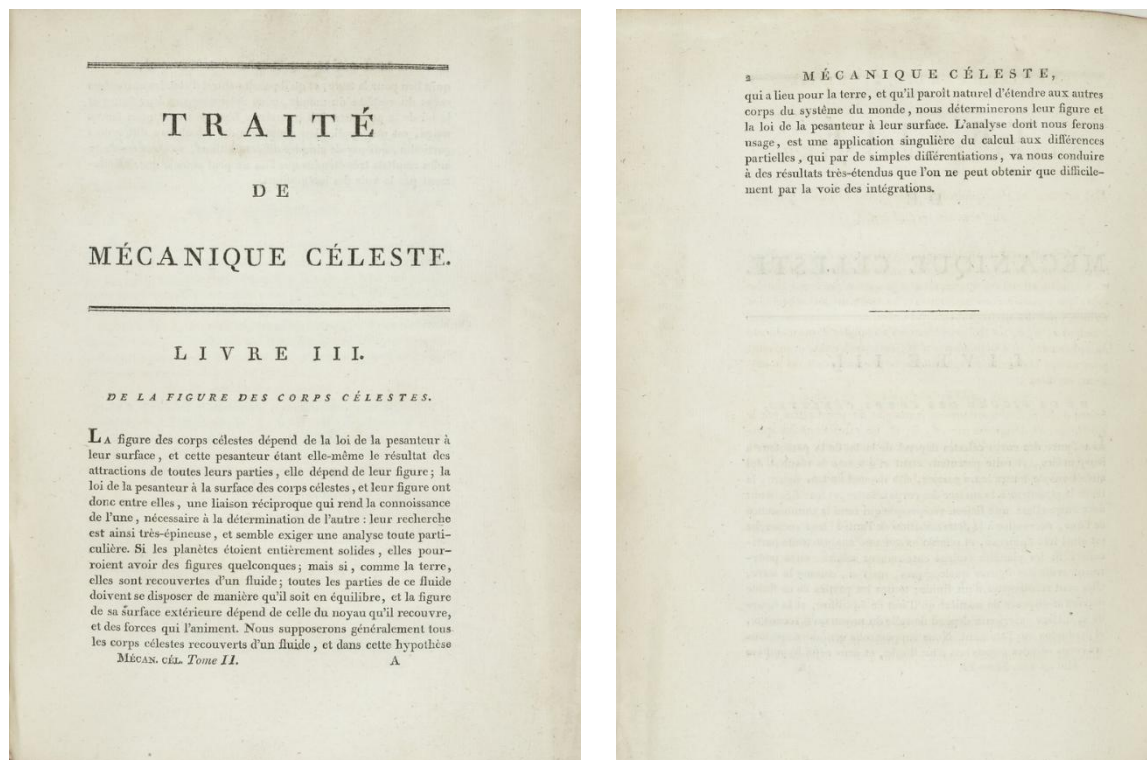


Figure 16 : Préface du Tome II du *Traité de mécanique céleste* [64]

La fin du tome II n'a pas de conclusion autre que celle de la dernière partie de ce tome, c'est-à-dire le chapitre III, du livre V (de la première partie) intitulé *Des mouvemens des anneaux de Saturne, autour de leurs centres de gravité*. Il y a juste d'indiqué :

FIN DU TOME SECOND ET DE LA PREMIÈRE PARTIE.

Ces deux tomes constituent pour Laplace une première partie d'un travail qui devrait donner lieu à d'autre(s) publication(s).

5.2 - Tome III

Le tome III est publié en 1802, 4 années après les deux premiers, et commence par une dédicace : « A Bonaparte, de l'Institut National. Citoyen premier consul, Vous m'avez permis de vous dédier cet ouvrage. [...] ». On peut également lire ce troisième tome sur le site de la BnF [65]. La préface, plus longue que les précédentes, commence par reprendre tous les points démontrés dans les tomes précédents, extrait :

« Nous avons donné dans la première partie de cet ouvrage, les principes généraux de l'équilibre et du mouvement de la matière. Leur application aux mouvemens célestes, nous a conduits sans hypothèses et par une série de raisonnemens géométriques, à la loi de gravitation universelle dont la pesanteur et mouvemens des projectiles sur la terre, ne sont que des cas particuliers. [...] nous sommes parvenus, au moyen d'une analyse singulière, aux expressions générales de leurs mouvemens, de leurs figures et des oscillations des fluides qui les recouvrent ; [...] Nous en avons déduit les principales inégalités des planètes et spécialement celles de Jupiter et de Saturne, [...] Nous avons développé les variations des éléments du système planétaire, qui ne se rétablissent qu'après un très-grand nombre de siècles. [...] nous avons reconnu la constance des moyens mouvemens et des distances moyennes des corps de ce système que la nature semble avoir disposé primitivement pour une éternelle durée [...] Nous avons prouvé que l'attraction du sphéroïde terrestre, ramenant sans cesse vers son centre l'hémisphère que la lune nous présente, transporte au mouvement de rotation de ce satellite, les grandes variations séculaires de son mouvement de révolution [...] Enfin, nous avons démontré sur les mouvemens des trois satellites de

Jupiter, ce théorème remarquables ; savoir, qu'une vertu de leur action mutuelle, la longitude moyenne du premier vu du centre de Jupiter, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, est exactement et constamment égale à deux angles droits, en sorte qu'ils ne peuvent jamais à-la-fois éclipsés. » (figure 17).

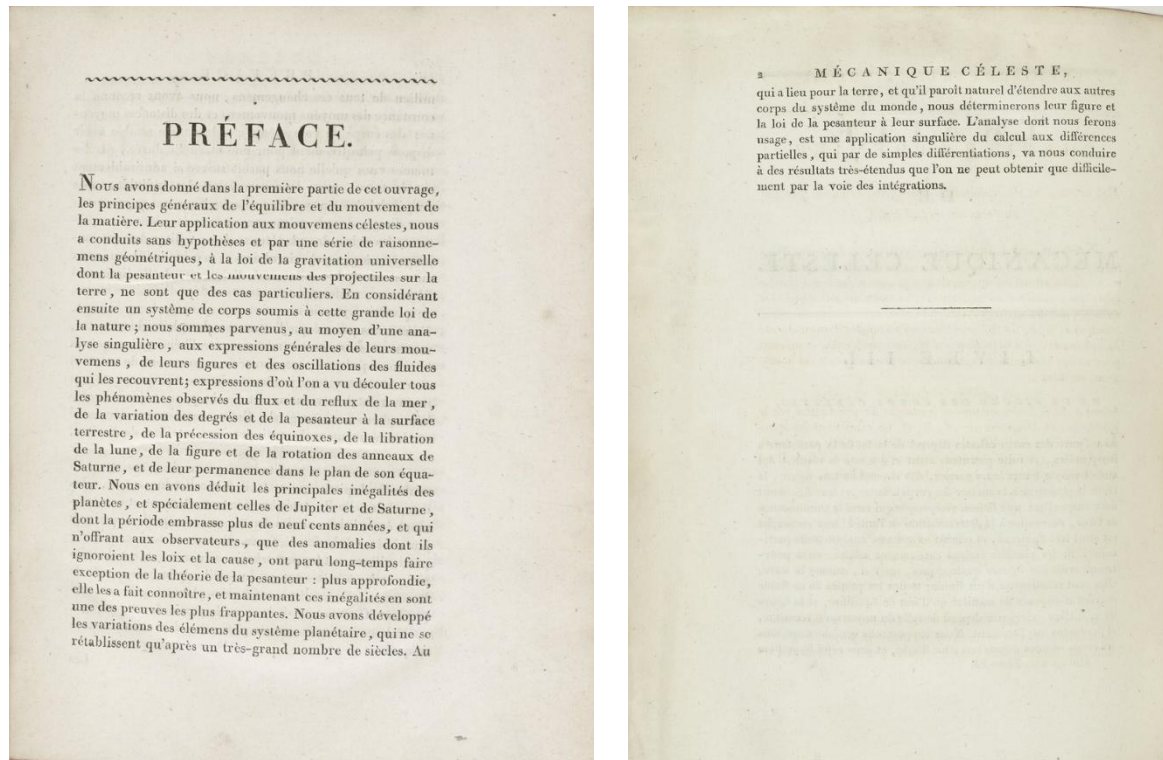


Figure 17 : Première et dernière pages de la préface du Tome III du *Traité de mécanique céleste* [65]

Puis Laplace présente rapidement le contenu de ce nouveau tome : « Il nous reste à considérer particulièrement les perturbations du mouvement des planètes et des comètes autour du soleil, de la lune autour de la terre, et des satellites autour des planètes qu'ils accompagnent. C'est l'objet de la seconde partie de cet ouvrage, spécialement consacrées à la perfection des tables astronomiques. » et commence ensuite un historique des tables et des connaissances astronomiques depuis la plus haute antiquité jusqu'à lui, citant Hypparque⁵², Ptolémée⁵³, les savants indiens, arabes et perses, Copernic⁵⁴, Kepler, Galilée⁵⁵, Huygens⁵⁶, Néper⁵⁷, Descartes et Newton bien sûr. Il continue « Dans ce siècle qui vient de s'écouler, les successeurs de ce grand homme ont achevé l'édifice dont il avoit posé les fondements. Ils ont perfectionné l'analyse infinitésimale, inventé le calcul aux différences partielles infiniment petites et finies, en réduit en formule, la mécanique entière. En appliquant ces découvertes, à la loi de la pesanteur, ils ont ramené à cette loi tous les phénomènes célestes, et donné aux théories et aux tables astronomiques, une précision inespérée dont on est surtout redevable aux travaux des Géomètres français, et aux prix proposés par l'Académie des

⁵² Hipparque (~190 av. J.-C., ~120 av. J.-C.), astronome, géographe et mathématicien grec

⁵³ Claude Ptolémée (~100, ~168), astronome, astrologue et mathématicien d'Alexandrie (Egypte), consacre le modèle géocentrique d'Hipparque

⁵⁴ Nicolas Copernic (1473-1543), astronome polonais, à l'origine de l'Héliocentrisme qu'il décrit dans les années 1510 en opposition au géocentrisme proposé depuis le II^e siècle

⁵⁵ Galileo Galilei (1564-1642), dit Galilée en France, mathématicien, géomètre, physicien et astronome toscan, partisan de la révolution copernicienne de l'héliocentrisme

⁵⁶ Christian Huygens (1629-1695), mathématicien, astronome et physicien néerlandais, découvreur de Titan, satellite de Saturne en 1659

⁵⁷ John Napier (1550-1617), Jean Neper pour les français, physicien, astronome et mathématicien écossais, inventeur des logarithmes

Sciences. [...] ». Sont néanmoins cités quelques savants du XVIII^e non français comme Bradley⁵⁸ pour ses travaux sur les trajectoires des étoiles, l'oscillation de l'axe de rotation de la Terre ou les mesures multipliées des degrés et du pendule, pour lesquelles Laplace précise : « opérations dont la France a donné l'exemple en envoyant des Académiciens au nord, et l'équateur et dans l'hémisphère austral, pour y observer la grandeur de ces degrés et l'intensité de la pesanteur ; l'arc du méridien compris entre Dunkerque et Barcelone [...] et servant de base au système métrique le plus naturel et le plus simple [...] » ; ou Herschel⁵⁹ pour ses découvertes d'Uranus et de ses satellites. Laplace enchaîne sur des découvertes du siècle à peine commencé qu'est le XIX^e, comme « [...] la planète Cérès, suivie presque aussi-tôt par celle de la planète Pallas [...] »⁶⁰ mais dont il ne cite pas les noms des découvreurs.

Laplace nous offre un grand paragraphe sur sa passion des mathématiques, et en particulier l'analyse : « C'est principalement dans les applications de l'analyse au système du monde, que se manifeste la puissance de ce merveilleux instrument sans lequel il eût été impossible de pénétrer un mécanisme aussi compliqué dans ses effets, qu'il est simple dans sa cause. Le Géomètre embrasse maintenant dans ses formules, l'ensemble du système planétaire et de ses variations successives ; il remonte par la pensée, aux divers états qu'il a subis dans les temps les plus reculés, et redescend à tous ceux que les temps à venir développeront aux observateurs. Il voit ce sublime spectacle dont la période embrasse des millions d'années, se renouveler en peu de siècles, [...] La théorie de la pesanteur, devenue par tant d'applications, un moyen de découvertes aussi certain que l'observation elle-même, lui a fait connaître plusieurs inégalités nouvelles, et prédire le retour de la comète de 1759 dont l'action de Jupiter et de Saturne rend les révolutions très-inégales. Par ce moyen, il a su tirer des observations comme une mine féconde, un grand nombre d'éléments importants et délicats qui sans l'analyse, y resteroient éternellement cachés. Tels sont [...] » et Laplace nous livre une longue liste des découvertes faites grâce aux applications de l'analyse au système du monde, et en particulier sur les tables astronomiques pour la navigation en haute mer. Voici les derniers mots de sa préface, clairement dans la continuité des Lumières⁶¹ : « Enfin, par une combinaison heureuse de l'analyse avec les observations, cet astre qui semble avoir été donné à la terre pour l'éclairer pendant les nuits, devient encore le guide le plus assuré du navigateur qu'il garantit des dangers auxquels il fût exposé long-temps par les erreurs de son estime. La perfection de la théorie et des tables lunaires, à laquelle il doit ce précieux avantage et celui de fixer avec exactitude la position des objets qui s'offrent à sa vue, est le fruit des travaux des Géomètres et des Astronomes, depuis plus d'un demi-siècle : elle réunit tout ce qui peut donner du prix aux découvertes ; la grandeur et l'utilité de l'objet, la fécondité des résultats et le mérite de la difficulté vaincue. C'est ainsi que les théories les plus abstraites, en se rependant par de nombreuses applications, sur la nature et sur les arts, sont devenues d'inépuisables sources de biens et de jouissances pour celui même qui les ignore »

Laplace comme pour la fin de sa première publication ne nous livre pas de conclusion hors celle du chapitre qui clos ce tome, c'est-à-dire le chapitre VI du livre VII de la seconde partie intitulé *Des*

⁵⁸ James Bradley (1693-1762), astronome britannique, directeur de l'observatoire de Greenwich

⁵⁹ William Herschel (1738-1822), musicien et astronome germano-britannique, découvreur d'Uranus en 1781, puis de deux de ses satellites Obéron et Titania en 1787

⁶⁰ Cérès est une planète naine située dans la ceinture d'astéroïdes (entre les orbites de Mars et Jupiter) découverte en 1801 par l'astronome et mathématicien lombard Guiseppe Piazzi (1746-1826) ; Pallas est un astéroïde découvert en 1802 par l'astronome, médecin et physicien allemand Heinrich Olbers (1758-1840)

⁶¹ Les Lumières : courant de pensée européen de la seconde moitié du XVII^e siècle, qui se développe notamment en France au cours du XVIII^e, œuvrant pour un progrès du monde par le triomphe de la raison

variations séculaires des mouvements de la lune et de la terre, qui peuvent être produites par la résistance d'un fluide éthéré répandu autour du soleil. Notons que la dernière mention :

FIN DU TOME TROISIÈME.

ne laisse pas supposer qu'il pourrait y avoir une suite.

5.3 - Tome IV

Le quatrième tome est publié 1805 et présente une très longue préface de plus de vingt pages qui commence simplement par : « Après avoir exposé dans les deux livres précédents, les théories des planètes et de la lune ; il reste à présenter celles des autres satellites et des comètes : c'est le principal objet de ce volume [...] ».

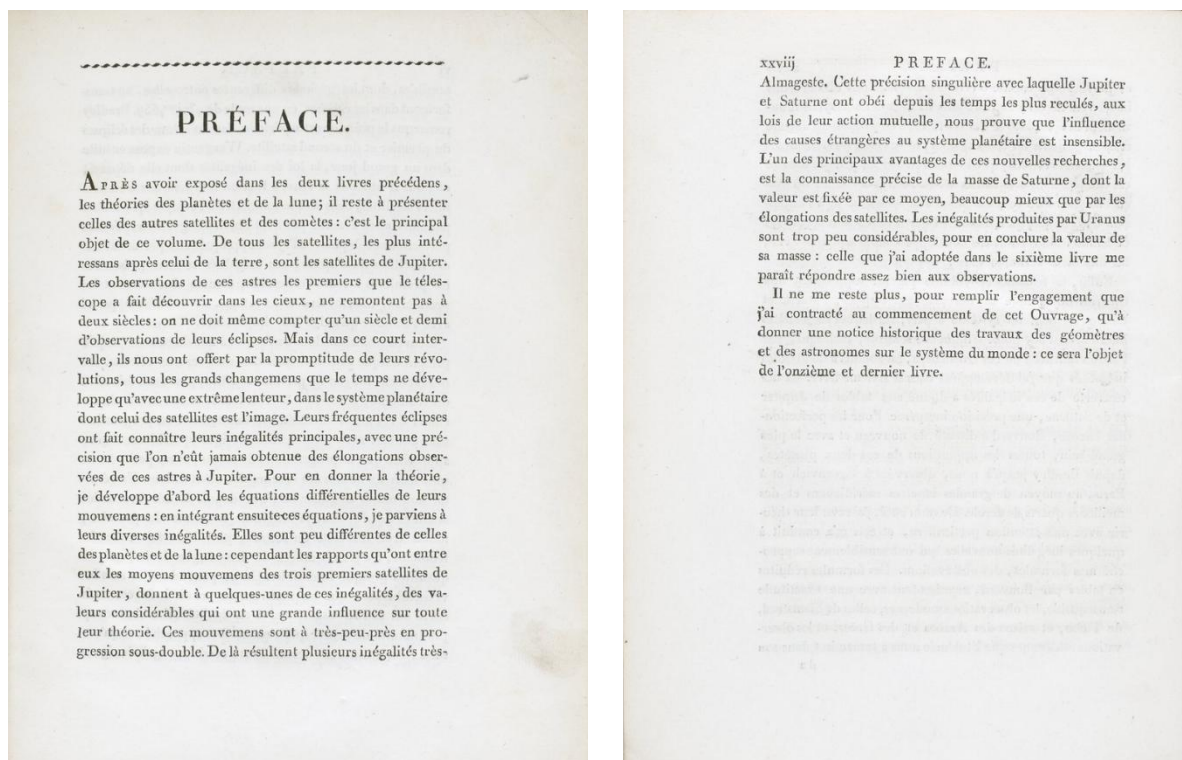


Figure 18 : Première et dernière pages de la préface du Tome IV du Traité de mécanique céleste [66]

Laplace enchaîne tout de suite avec une longue présentation des résultats obtenus sur les satellites de Jupiter parce que « De tous les satellites, les plus intéressants après celui de la terre, sont les satellites de Jupiter. Les observations de ces astres les premiers que le télescope a fait découvrir dans les cieux, ne remontent pas à deux siècles : on ne doit même compter qu'un siècle et demi d'observations de leurs éclipses. Mais dans ce court intervalle, il nous ont offert par la promptitude de leurs révolutions, tous les grands changements que le temps ne développent qu'avec une extrême lenteur, [...] Leurs fréquentes éclipses ont fait connaître leurs inégalités principales, avec une précision que l'on n'eût jamais obtenue des elongations observées de ces astres à Jupiter [...] ». Il développe ensuite comment il travaille les inégalités, résultats de l'intégration des équations différentielles des mouvements des satellites de Jupiter, il cite les travaux de Bradley et de Wargentin⁶², exemple : « [...] De là résultent plusieurs inégalités très-sensibles, dont les périodes différents entre elles, se transforment dans les éclipses, en une seule de 437^{jours},359. Bradley remarqua le premier cette période, dans le retour des éclipses du premier et du second satellites. Wargentin exposa ensuite dans un grand jour, la loi des inégalités dont elle dépend, et dont il attribua la cause à

⁶² Pehr Wilhelm Wargentin (1717-1783), astronome, démographe et mathématicien suédois, spécialiste des comètes et des satellites de Jupiter, premier directeur de l'Observatoire de Stockholm

l'action mutuelle des trois premiers satellites, mais sans la soumettre à l'analyse qui n'était pas alors assez avancées pour cet objet. [...] ». Laplace cite également les travaux de son contemporain Delambre⁶³, exemple : « [...] Pour avoir les valeurs de toutes ces inconnues; il fallait discuter un très-grand nombre d'éclipses de chaque satellite, et les combiner de la manière la plus propre à faire ressortir chaque élément. Delambre a exécuté ce travail important avec le plus grand succès, et ses tables qui représentent les observations avec l'exactitude des observations mêmes, offrent au navigateur, un moyen sûr et facile pour avoir sur-le-champ par les éclipses des satellites et surtout par celles du premier, la longitude des lieux où il atterre. [...] », et il ne revient pas sur les résultats déjà présentés dans ces premiers tomes auquel il renvoie le lecteur. La présentation du déroulé de son étude de Jupiter et ses satellites est détaillée sur plus de dix pages et termine par « La théorie des satellites est maintenant assez avancée, pour que ce qui lui manque, ne puisse être déterminé que par des observations très-précises ; il devient donc nécessaire d'essayer de nouveaux moyens d'observation, ou du moins, de s'assurer que ceux dont on fait usage, méritent la préférence. [...] ». Commence alors une présentation courte de ses travaux sur les satellites de Saturne, en précisant tout de suite une différence notable qui contraint les savants : « L'extrême difficulté des observations des satellites de Saturne, rend leur théorie si imparfaite, que l'on connaît à peine quelques précisions, leurs révolutions et leurs distances moyennes à cette planète, il est donc inutile jusqu'à présent de considérer leurs perturbations. Mais la position de leurs orbites présente un phénomène digne de l'attention des géomètres et des astronomes. Les orbites des six premiers satellites paraissent être dans le plan de l'anneau, tandis que l'orbite du septième s'en écarte sensiblement. Il est naturel de penser que cela dépend de l'action de Saturne qui, par son ellipticité, retient les six premiers orbites dans le plan de son équateur, comme il maintient dans ce même plan, l'anneau dont la planète est entourée. L'action du soleil tend à les en écarter ; mais cet écart croissant très-rapidement et à-peu-près comme la cinquième puissance du rayon de l'orbite, il ne devient sensible que pour le dernier satellite. [...] ». Un paragraphe présente succinctement les travaux de Laplace sur Uranus « [...] Nous sommes moins instruits encore à l'égard des satellites d'Uranus. Il paraît seulement, d'après les observations d'Herschel, qu'ils se meuvent tous sur un même plan presque perpendiculaire à celui de l'orbite de la planète ; ce qui indique évidemment une position semblable dans le plan de son équateur. Je fais voir que l'aplatissement de la planète, combiné avec l'action des satellites, peut maintenir très-peu-près dans ce plan, les orbites divers. Voilà tout ce que l'on peut dire sur ces astres qui, par leur petitesse et leur éloignement, se refuseront toujours à des recherches plus étendues. [...] », ce qui clos le contenu du livre VIII.

« [...] La théorie des perturbations des comètes est l'objet du neuvième livre. [...] » et Laplace prévient tout de suite le lecteur : « [...] La grandeur des excentricités et des inclinaisons de leurs orbites, ne permet pas d'appliquer à ces astres, les formules relatives aux planètes et aux satellites. Il n'est possible dans l'état actuel de l'analyse, de représenter leurs mouvements, par des expressions analytiques qui embrassent un nombre indéfini de révolutions, et l'on est réduit à les déterminer par parties, et au moyen des quadratures. La méthode la plus simple pour y parvenir, est celle dont est redevable à Lagrange, et qui consiste à regarder l'orbite de la comète, comme une ellipse sans cesse variables [...] », notons la citation des travaux de Lagrange. Laplace présente ensuite un cas particulier illustrée par une comète passée dans le dernier tiers du XVIII^e siècle « Je traite ensuite, par une analyse particulière, le cas d'une comète qui approche assez près d'une planète, pour que son orbite

⁶³ Jean-Baptiste Joseph Delambre (1749-1822), astronome et mathématicien français, directeur de l'Observatoire de Paris. Il sera à la mesure d'un arc du méridien de Paris entre Dunkerque et Barcelone

en soit totalement changée : ce cas singulier mérite d'autant plus d'attention, qu'il paraît avoir été celui de la première comète de 1770. On connaît les tentatives infructueuses des astronomes, pour assujétir les observations de cette comète aux lois du mouvement paraboliques. [...] De toutes les comètes observées, la précédente est celle a le plus approché de la terre; elle a dû par conséquent en éprouver des altérations sensibles. Je trouve, en effet, que l'action de la terre a augmenté de deux jours sa révolution sydérale; mais la comète, en réagissant sur ka terre, a dû pareillement altérer la durée de l'année sydérale : l'analyse fait voir qu'elle serait diminuée de la neuvième partie d'un jour, si la masse de la comète égalait celle de la terre. Les recherches de Delambre vient de faire, pour perfectionner les tables du soleil, ne permettent pas d'attribuer à l'action de la comète, une diminution de trois secondes dans cette durée ; nous sommes donc bien certains que la masse de la comète n'est pas la cinq-millième partie de celle de la terre. [...] », pour conclure « [...] ainsi leurs masses (des comètes) doivent être d'une petitesse extrême, et les astronomes n'ont aucune raison de craindre qu'elles puissent nuire à l'exactitude de leurs tables. [...] ».

Laplace termine la présentation de son ouvrage par le dixième livre *Sur différents points relatifs au système du monde* dont « [...] L'un des plus intéressans par ses rapports avec l'attraction universelle et par son influence sur les observations célestes, est la théorie des réfractions astronomiques ; L'air au travers duquel nous voyons les astres, infléchit leurs rayons suivant des lois qu'il importe aux astronomes de vine connaître : elles dépendent de la constitution de l'atmosphère et des variations qu'elle éprouve dans sa pression et dans sa chaleur. [...] », Laplace expose alors les travaux de Gay-Lussac (orthographié Gai-Lussac) sur la dilatation des gaz qu'il utilise pour le calcul des réfractions « [...] et j'en ai conclu, pour avoir des réfractions au-dessus de douze degrés de hauteur apparente, une formule que je crois très-exacte [...] ».

Le dernier paragraphe de cette préface laisse entendre qu'il devrait y avoir un dernier tome, qui pourtant ne sera pas immédiat : « [...] Il me reste plus, pour remplir l'engagement que j'ai contracté au commencement de cet Ouvrage, qu'à donner une notice historique des travaux des géomètres et des astronomes que le système di monde : ce sera l'objet de l'onzième te dernier livre. »

Laplace, là encore, ne nous livre pas de conclusion hors celle du chapitre qui clos ce tome, c'est-à-dire un supplément aux théories de la lune et des planètes. Notons que la dernière mention est très lapidaire : **F I N.** et sera exacte durant les vingt années suivantes.

5.4 - Tome V

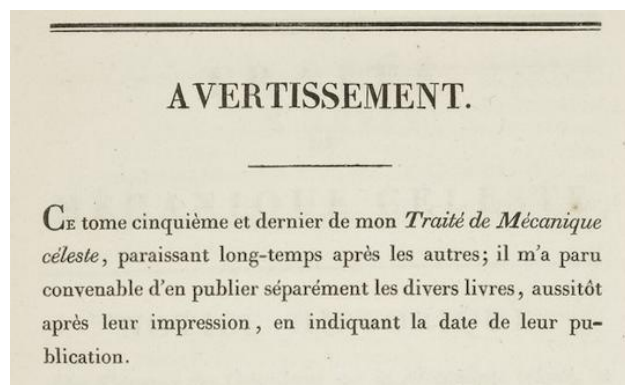
Les quatre premiers tomes de ce *Traité* sont édités en sept années (1798-1805), le cinquième n'arrivera qu'en 1825. Durant ces vingt ans, Laplace fait l'acquisition de sa demeure à Arcueil et fonde avec Berthollet la *Société d'Arcueil* (section 1.4). Les travaux de Laplace durant cette période s'orientent vers les probabilités et la mathématisation de la physique pour développer une « mécanique terrestre » à l'image de la mécanique céleste de Newton. Déjà proposée dans *l'Exposition du système du monde* publié en 1796, Laplace explore l'idée que les forces qui s'exercent entre les molécules sont inversement proportionnelles à une puissance de leur distance. Les forces seraient réglées par une loi de structure analogue à la loi de l'attraction universelle, conforté dans cette idée par les travaux en électrostatique de Coulomb⁶⁴ dans les années 1880. Coulomb, en cherchant à déterminer la force s'exerçant entre deux particules chargées électriquement, aboutira à ce qui s'appelle aujourd'hui la loi de Coulomb : *L'intensité de la force*

⁶⁴ Charles-Augustin Coulomb (1736-1806), officier, ingénieur et physicien français

électrostatique entre deux charges électriques est proportionnelle au produit des deux charges et est inversement proportionnelle au carré de la distance entre les deux charges. La force est portée par la droite passant par les deux charges. Cette loi reprend la structure mathématique de la loi de l'attraction universelle. L'idée serait donc d'expliquer toute la physique à travers des forces attractives et répulsives en inverse du carré de la distance. La *Société d'Arcueil* abrite nombre de savants de l'époque comme Gay-Lussac, Poisson ou Biot mais aussi Ampère⁶⁵, ainsi cette vision de la physique domine la science française dans ce premier quart du XIX^e siècle [79].

La discipline des probabilités est au cœur des travaux de nombreux savants depuis le XVI^e siècle, cherchant à mathématiser les jeux de hasard. Le calcul sur les probabilités se formalise au cours du XVII^e siècle grâce à Pascal⁶⁶ et Fermat⁶⁷ puis se transporte sur des domaines autres que les jeux, comme par exemple sur le calcul de l'espérance de vie, que l'on doit à Huygens et Halley à partir des tables de mortalités de la ville de Londres. Jacques Bernoulli⁶⁸ dans sa publication posthume de 1705 *Ars conjectandi* (l'art de conjecturer) propose un raisonnement combinatoire pour la détermination de toutes les probabilités d'occurrence d'un événement ainsi que le problème de probabilité inverse. Laplace comme à son habitude, mathématise les probabilités ; dès les années 1770, avec le *Mémoire sur la probabilité des causes par les événements*, Laplace fait des probabilités une science mathématique ; voici ses premiers mots : « La théorie des hasards est une des parties les plus curieuses et les plus délicates de l'Analyse, par la finesse des combinaisons qu'elle exige et par la difficulté de les soumettre au calcul [...] ». Ce court mémoire d'à peine 40 pages peut se lire sur le site de la BnF [82]. Mais toutes sciences qu'elles sont, les probabilités ont pour Laplace une utilité dans la vie comme par exemple la démographie. On peut le lire dans la dédicace à *Napoléon-Le-Grand* de son ouvrage *Théorie analytique des probabilités*, publié en 1812 par l'alors Monsieur le Comte Laplace : « Sire, La bienveillance avec laquelle Votre majesté a daigné accueillir l'hommage de mon *Traité de Mécanique céleste*, m'a inspiré le désir de Lui dédier cet Ouvrage sur le Calcul de Probabilités. Ce calcul délicat s'étend aux questions les plus importantes de la vie, qui ne sont en effet, pour la plupart, que des problèmes de probabilité. [...], la suite peut se lire sur le site de la BnF [83].

Mais revenons au tome V du *Traité de mécanique céleste*, que l'on peut lire sur le site Internet Archives [77], il commence par un avertissement :



Laplace ne rédige pas de grande préface à ce tome V. La première page (figure 19) contient juste un sous-titre en-dessous de *Traité de mécanique céleste* : Notice historique suivi de Des travaux

⁶⁵ André-Marie Ampère (1775-1836), mathématicien, physicien et chimiste français, voir la ressource « André-Marie Ampère et la découverte de l'électrodynamique » [79]

⁶⁶ Blaise Pascal (1623-1662), mathématicien, physicien et théologien français

⁶⁷ Pierre de Fermat (1601 ou 1605-1665), magistrat et mathématicien français

⁶⁸ Jacob Bernoulli (1654-1705), mathématicien et physicien suisse, premier Bernoulli de la grande famille, oncle de Daniel évoqué en section 2.4 (voir aussi « La famille Bernoulli, lequel a fait quoi ? » [55])

des Géomètres sur la Mécanique céleste et nouvelles Recherches sur le système du monde, puis un petit paragraphe avant d'entrer dans le vif du sujet : « J'ai annoncé au commencement de ce Traité, que je le terminerais par une Notice historique des travaux des géomètres sur la Mécanique céleste. Je vais ici remplir cet engagement. Mais ayant fait depuis l'impression des volumes précédens de cet Ouvrage, de nouvelles recherches sur divers points de la Mécanique céleste, recherches que j'ai publié dans les Mémoires de l'Institut et dans le Recueil de la Connaissance des Temps; j'ai pensé qu'il serait utile de les réunir à la suite des notices historiques sur chaque objet. Je vais commencer par la figure et la rotation de la Terre. ».

Le tome V se termine sur le chapitre VII *Des satellites de Saturne et d'Uranus* du livre XVI qui tient en trois pages. Il y a comme simples mots de conclusion : **FIN DU XVI^e ET DERNIER LIVRE.** qui a le mérite de ne pas laisser de doute.

Laplace ajoute un supplément au cinquième volume en le justifiant : « En publiant mon Traité de Mécanique céleste, j'ai désiré que les Géomètres en vérifiassent les résultats, et spécialement ceux qui me sont propres. Les résultats de la théorie du Système du Monde sont, pour la plupart, si distans des premiers principes, que leur vérification est nécessaire pour en assurer l'exactitude. Les Géomètres qui s'en occupent font donc une chose utile à l'Astronomie. Je dois, comme savant et comme auteur, beaucoup de reconnaissance à ceux qui ont bien voulu prendre mon Ouvrage pour texte de leurs discussions, et qui par là m'ont fourni l'occasion d'éclaircir quelques points délicats traités dans cet Ouvrage. Ce sont ces éclaircissemens et quelques recherches nouvelles qui sont l'objet de ce Supplément. ». Le supplément se termine par le simple mot « Fin ».

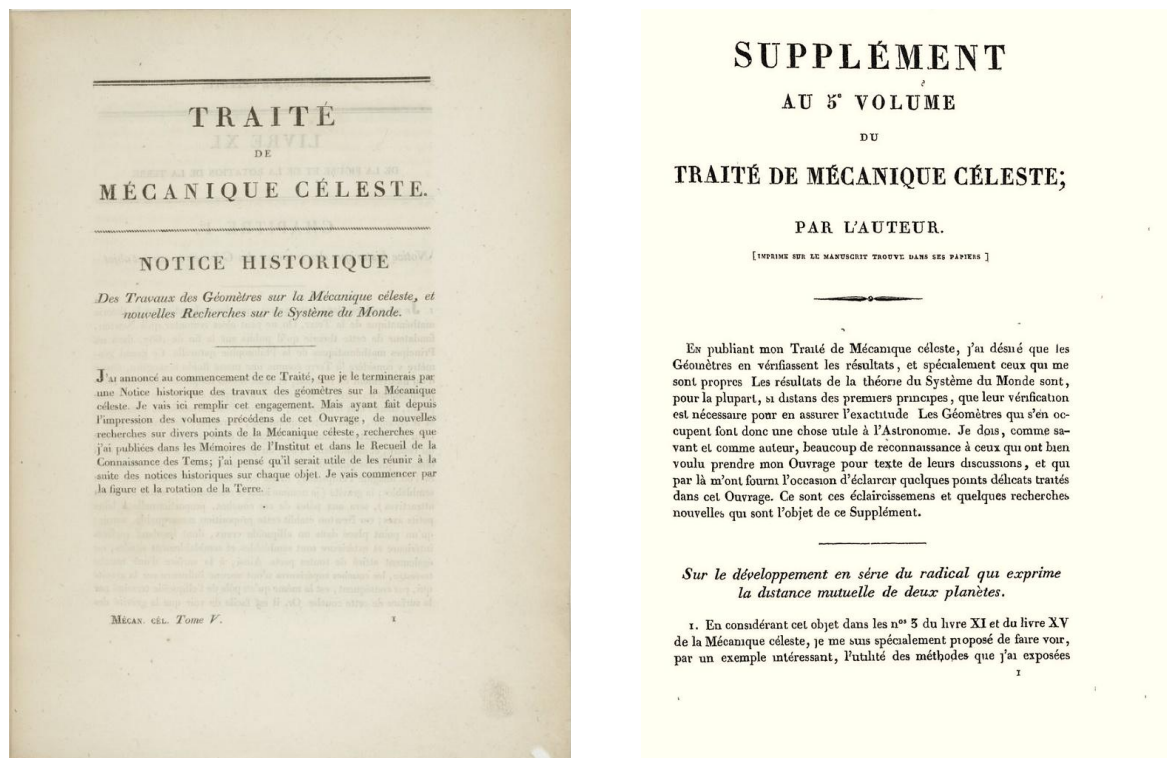


Figure 19 : Première page du Tome V du Traité de mécanique céleste et première page du supplément [77]

6 - Conclusion

À la publication des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* en 1687 de Newton s'ouvrait une nouvelle vision des sciences et particulièrement de la physique, établissant de nouvelles fondations sur lesquels d'autres grands savants se sont appuyés. Parmi ces grands

newtoniens, il y eut Laplace : avant lui, Saturne pouvait s'échapper du système solaire, et Jupiter plonger dans le Soleil ! Laplace annonça que le système solaire était stable et il prouva également par ses travaux que les mathématiques permettent la compréhension du monde et de son évolution.

Né dans une époque troublée, Laplace s'est adapté passant du statut de sujet du Roi, à Marquis de la monarchie restaurée après avoir été citoyen de la République toute neuve, puis ministre et sénateur, Comte d'empire par la grâce de Napoléon 1^{er}. En dehors de la période de la terreur, Laplace s'est accommodé des différents pouvoirs en place, menant ses projets et sa carrière comme on peut le constater sur les pages de garde des différents tomes du traité de mécanique céleste, où la progression de sa notoriété se constate (extraits figure 20). Lors la publication des tomes I et II, l'auteur P. S. Laplace est présenté comme « Membre de l'Institut national de France, et du bureau des longitudes » ; quatre ans plus tard en 1802 sur le Tome III, il est « Membre du Sénat conservateur, de l'Institut national, et du Bureau des Longitudes de France ; des Sociétés royales de Londres et de Gottingue ; des Académies des Sciences de Russie, de Danemark, d'Italie, etc. » (Curieux ce « etc. » !)

Sur le tome IV en 1805, on retrouve M. Laplace « Chancelier du Sénat conservateur, Grand-Officier de la Légion d'honneur, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes de France ; des Sociétés royales de Londres et de Gottingue ; des Académies des Sciences de Russie, de Danemark, d'Italie, etc. ». En 1825, lors de la publication du tome V, l'auteur a 76 ans et est devenu M. le Marquis De Laplace, il est « Pair de France ; Grand-Officier de la Légion d'honneur ; l'un des quarante de l'Académie française ; de l'Académie des Sciences ; Membre du Bureau des Longitudes de France ; des Sociétés royales de Londres et de Gottingue ; des Académies des Sciences de Russie, de Danemark, de Suède, de Prusse, d'Italie, de Boston, etc. ». Avant le « etc. » la liste des académies des sciences citées a doublé.



Figure 20 : La présentation de l'auteur du Traité au fur et à mesure des publications (1798-1825)

L'activité scientifique de Laplace fut longue et constante presque jusqu'à ces derniers jours. Une dernière séance de travail dans le froid mois de février 1827 ne lui permit pas de se relever de son lit au 108 de la Rue du bac à Paris où il mourut le 5 mars (figure 21a), presque un siècle après Newton (mort le 20 mars 1727).

Pierre-Simon Laplace laisse son nom à une règle (section 1.4) mais aussi à un opérateur différentiel *l'opérateur laplacien*, à une équation aux dérivées partielles elliptique du second ordre *l'équation de Laplace*, à une transformée intégrale pourtant issue du travail d'Euler *la transformée de*

Laplace, également à une méthode d'évaluation numérique d'intégrale d'une certaine forme la *méthode de Laplace*, etc.

La ville d'Arcueil, où Laplace vécut, possède une *Avenue Laplace* (figure 21b) créée dans le premier quart du XIX^e siècle, où se trouve d'ailleurs la maison de la famille Raspail⁶⁹. L'Avenue Laplace dessert une gare du RER B, la *Station Laplace-Maison de examens*. La demeure de Laplace se situait dans l'actuelle rue Berthollet où celui-ci avait également sa maison. Ce n'est évidemment pas la seule ville de France avec une artère au nom du savant, des collèges ou lycées portant également son nom.

En 1991, à la création d'un institut de recherche universitaire regroupant neuf laboratoires dans le but de mutualiser les moyens instrumentaux et spatiaux pour des études pluridisciplinaires sur l'environnement, il lui a été donné le nom d'*Institut Pierre-Simon Laplace* ou [IPSL](#) (figure 21c).



Figure 21 : a) Plaque au 108 rue du Bac à Paris, b) Panneau de l'Avenue Laplace, c) Logo de l'IPSL

Laplace fait partie des 72 noms inscrits sur la frise du premier étage de la tour Eiffel. Il se trouve au milieu des 18 noms face à la place du Trocadéro, pas très loin des noms de Lagrange et Lavoisier



Figure 22 : Frise des noms face du premier étage de la tour Eiffel face à la place du Trocadéro

Beaumont-en-Auge, où Laplace est né, lui rend hommage par une statue en bronze le représentant ; sur le piédestal sont fixés les médaillons de Galilée et Newton.

Citons encore pour les hommages rendus à Laplace, son nom donné dans le système solaire, à l'astéroïde 4628 de la ceinture principale (découvert par Eric Walter Elst⁷⁰ en 1986) et à un promontoire montagneux sur la Lune.

Figure 23 shows a handwritten signature in dark ink, which reads 'Pierre-Simon Laplace'.

Figure 23 : Signature de Pierre-Simon Laplace, wikicommons

⁶⁹ François-Vincent Raspail (1794-1778), chimiste, botaniste et homme politique Français, père de Camille (1827-1893) Médecin de député du Var, Emile (1831-1887) Ingénieur chimiste et maire d'Arcueil, Benjamin (1823-1899), député de la Seine et Xavier (1840-1926) Médecin

⁷⁰ Eric Walter Elst (1936-2022) astronome belge, découvreurs de nombreux astéroïdes

Références :

- [1]: Pierre-Simon de Laplace, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_de_Laplace
- [2]: Marquis Pierre Simon de Laplace (23 mars 1749 [Beaumont-en-Auge] - 5 mars 1827 [Paris]), Bibm@th.net, <https://www.bibmath.net/bios/index.php?action=affiche&quoi=laplace>
- [3]: Pierre-Simon de Laplace, Techno-Science.net, <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Pierre-Simon-de-Laplace.html>
- [4]: Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), Archives départementales de Seine-et-Marne, <https://archives.seine-et-marne.fr/fr/pierre-simon-de-laplace-1749-1827>
- [5]: Laplace Pierre Simon de (1749-1827), Universalis.fr, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pierre-simon-de-laplace/>
- [6]: LAPLACE, du Pays d'Auge à la gloire parisienne, Mathouriste, <https://www.mathouriste.eu/Laplace/Laplace.html>
- [7]: Les origines de Laplace : sa généalogie, ses études, Abbé G.A. Simon, Biometrika, Vol. 21, No ¼ (Dec., 1929), pp.217-230, JSTOR, <https://www.jstor.org/stable/2332558>
- [8] : Eloge historique de M. Le marquis de Laplace, prononcé dans la séance publique de l'Académie royale des sciences, le 15 juin 1826, par M. Baron Fourier, Académie des sciences, https://www.academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Fourier/Fourier_pdf/Mem1829_p81_102.pdf
- [9]: Pierre-Simon de Laplace, académie française, <https://www.academie-francaise.fr/les-immortels/pierre-simon-de-laplace>
- [10]: Laplace, Pierre-Simon de (1749-1728), Les procès-verbaux du bureau des longitudes, <http://bdl.ahp-numerique.fr/items/show/12029>
- [11]: L'Académie royale des Sciences (1666-1793), Revue d'histoire des sciences, Pierre Gauja, 1946, https://www.persee.fr/doc/rhs_0048-7996_1949_num_2_4_2738
- [12]: Pierre-Simon Laplace - Œuvres complètes, tome 9, Gallica-math, http://sites.mathdoc.fr/cgi-bin/oetoc?id=OE_LAPLACE_9
- [13]: Mémoires sur la chaleur, Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1780, http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/ice_page_detail.php?lang=fr&type=text&bdd=lavosier&table=La_voisier&typeofbookDes=Memoires&bookId=38&pageChapter=M%E9moire%20sur%20la%20chaleur&pageOrder=1&facsimile=off&search=no&num=&nav=1&facsimile=on&search=no&cfzoom=1.5
- [14]: Histoire de l'académie royale des sciences, année 1781, avec les Mémoires de Mathématiques & de Physique ; Mémoire sur l'Electricité qu'absorbent les corps qui le réduisent en vapeurs par Mrs. Lavoisier et de la Place, https://www.academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Volta/Volta_pdf/Mem1781_p292_294.pdf
- [15]: Laplace et la mécanique céleste, collection « Grandes idées de la sciences », édité par RBA France
- [16]: Serment du Jeu de paume, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Serment_du_Jeu_de_paume
- [17]: Jacques-louis David, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jacques-Louis_David
- [18]: Jean Sylvain Bailly, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean_Sylvain_Bailly
- [19]: Terreur (Révolution française), Wikipédia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Terreur_\(R%C3%A9volution_fran%C3%A7aise\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Terreur_(R%C3%A9volution_fran%C3%A7aise))
- [20]: Sadi Carnot et la naissance de la thermodynamique, M. Almanza, H. Horsin Molinaro, M. Lo Bue, janvier 2024, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/sadi-carnot-et-la-naissance-de-la-thermodynamique
- [21]: Lazare Carnot, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Lazare_Carnot

- [22]: Gaspard Monge, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaspard_Monge
- [23]: Maximilien de Robespierre, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Maximilien_de_Robespierre
- [24]: Nicolas de Condorcet, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicolas_de_Condorcet
- [25]: Adrien-Marie Legendre, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Adrien-Marie_Legendre
- [26]: Histoire de l'éducation en France, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l%27%C3%A9ducation_en_France
- [27]: Du Système métrique au Système international d'unités (SI), H. Horsin Molinaro, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/du-systeme-metrique-au-systeme-international-dunites-si
- [28]: Ecole normale supérieure (France), Wikipédia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cole_normale_sup%C3%A9rieure_\(France\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cole_normale_sup%C3%A9rieure_(France))
- [29]: Claude Louis Berthollet, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Claude-Louis_Berthollet
- [30]: Jacques-Henri Bernardin de Saint-Pierre, Wikipédia, (1737-1814), https://fr.wikipedia.org/wiki/Jacques-Henri_Bernardin_de_Saint-Pierre
- [31]: Joseph Fourier, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier
- [32]: La sciences en caricatures, la lettre de l'Académie des sciences n°28, 2011, <https://www.academie-sciences.fr/pdf/lettre/lettre28.pdf>
- [33]: Société d'Arcueil, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9_d%27Arcueil
- [34]: Jean-Baptiste Biot, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Biot
- [35]: Louis-Joseph Gay-Lussac, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Joseph_Gay-Lussac
- [36]: Siméon Denis Poisson, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Sim%C3%A9on_Denis_Poisson
- [37]: Polynôme de Legendre, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Polyn%C3%B4me_de_Legendre
- [38]: Traité de la mécanique Céleste, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Trait%C3%A9_de_m%C3%A9canique_c%C3%A9leste
- [39]: Traité de mécanique céleste Tome premier, P. S. Laplace, an VII, BnF Gallica, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8615811x/f7.item>
- [40]: René Descartes, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes
- [41]: Formation des systèmes planétaires et cosmologie tourbillonnaire cartésienne, D. Foucault Nacelles N° 13-2022, <https://interfas.univ-tlse2.fr/nacelles/1776>
- [42]: Principes de la philosophie écrits en latin par René Descartes et traduits en français par un de ces amis, édition de 1647, BnF Gallica, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8600298z/f1.item>
- [43]: D'Alembert et ses correspondances, I. Passeron, UGA Éditions, <https://books.openedition.org/ugaeditions/573?lang=fr>
- [44]: Lois de Kepler, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Lois_de_Kepler
- [45]: Edmond Halley, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Edmond_Halley
- [46]: A Synopsis of the Astronomy of Comets, E. Halley, 1705, Internet archive, <https://archive.org/details/synopsisofastron00hall/page/n3/mode/2up>
- [47]: Louis Godin, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Godin
- [48]: Charles Marie de La Condamine, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Marie_de_La_Condamine
- [49]: Pierre Bouger, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_Bouguer

- [50]: Joseph de Jussieu, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Joseph_de_Jussieu
- [51]: La figure de la Terre, M. Bouguer, 1749, Internet archive, <https://archive.org/details/A297192/page/n5/mode/2up>
- [52]: Pierre Louis Moreau de Maupertuis, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_Louis_Moreau_de_Maupertuis
- [53]: Newton traduit par Emilie du Châtelet, BnF Gallica, octobre 2023 <https://gallica.bnf.fr/accueil/fr/html/newton-traduit-par-emilie-du-chatelet>
- [54]: Principes mathématiques de la philosophie naturelle, par feuë Madame la Marquise du Chastelet, 1759, BnF Gallica, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1040149v/f7.item>
- [55]: La famille Bernoulli, lequel a fait quoi ? H. Horsin Molinaro, M. Poncelet, octobre 2023, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/la-famille-bernoulli-lequel-a-fait-quoi
- [56]: Astéroïdes troyens de Jupiter, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Ast%C3%A9ro%C3%AFdes_troyens_de_Jupiter
- [57]: Urbain Le Verrier, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Urbain_Le_Verrier
- [58]: Henri Poincaré, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Henri_Poincar%C3%A9
- [59]: Albert Einstein, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein
- [60]: Alexis Bouvard, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Alexis_Bouvard
- [61]: Jean-Baptiste Biot, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Biot
- [62]: Siméon-Denis Poisson, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Sim%C3%A9on_Denis_Poisson
- [63]: Traité de mécanique céleste - Tome I, P.-S. Laplace, 1798, Gallica BnF, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8615811x/f1.item>
- [64]: Traité de mécanique céleste - Tome II, P.-S. Laplace, 1798, Gallica BnF, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8615811x/f405.item>
- [65]: Traité de mécanique céleste - Tome III, P.-S. Laplace, 1802, Gallica BnF, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8615810h/f1.item>
- [66]: Traité de mécanique céleste - Tome IV, P.-S. Laplace, 1805, Gallica BnF, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8615812b/f1.item>
- [67]: John Napier, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/John_Napier
- [68]: James Bradley, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/James_Bradley
- [69]: William Herschel, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/William_Herschel
- [70]: Hipparque, Wikipédia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hipparque_\(astronome\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hipparque_(astronome))
- [71]: Ptolémée, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Claude_Ptol%C3%A9m%C3%A9
- [72]: Copernic, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Copernic
- [73]: Galilée, Wikipédia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Galil%C3%A9_\(savant\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Galil%C3%A9_(savant))
- [74]: Huygens, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Christian_Huygens
- [75]: Pehr Wilhelm Wargentin, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pehr_Wilhelm_Wargentin
- [76]: Jean-Baptiste Joseph Delambre, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Joseph_Delambre
- [77]: Traité de mécanique céleste - Tome V, P.-S. Laplace, 1825, Internet Archives, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b86158145/f11.item>
- [78]: Charles-Augustin Coulomb, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_Coulomb

- [79]: André-Marie Ampère et la découverte de l'électrodynamique, H. Fischer, avril 2022, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/andre-marie-ampere-et-la-decouverte-de-lelectrodynamique
- [80]: Blaise Pascal, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Blaise_Pascal
- [81]: Pierre de Fermat, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_de_Fermat
- [82]: Mémoire sur la probabilité des causes par les événements, M. de la Place, 1774, Gallica BnF, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k77596b/f32>
- [83]: Théorie analytique des probabilités, M. le Comte Laplace, 1812, Gallica BnF, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8625611h/f7.image>
- [84]: Eric Walter Elst, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Eric_Walter_Elst
- [85]: Anders Celsius, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Anders_Celsius
- [86]: Alexis Claude Clairaut, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Alexis_Claude_Clairaut