

La Connaissance des temps : un journal scientifique publié depuis 1679

Épisode 25 - La physique et la mécanique au XIX^e siècle, première partie : théorie de la gravité, attraction des sphéroïdes, mouvement du pendule, figure de la Terre

Les articles liés à la physique tentent d'expliquer en général des phénomènes astronomiques ou physiques observés, comme le magnétisme. Il ne s'agit pas encore d'articles d'astrophysique (portant sur les rayonnements) qui apparaîtront au XX^e siècle et qui seront publiés dans des revues spécialisées. Dans les premiers volumes de la CDT, on trouve surtout des notes d'information sur les poids, les densités, la température, la pression. C'est au XIX^e siècle que des articles de fond vont être publiés selon l'avancement des sciences physiques, articles traitant principalement de la partie « mécanique » de la physique et de la gravité. Les sujets traités sont très variés. Nous aborderons, dans cette première partie consacrée à la physique et à la mécanique, la théorie de la gravité, l'attraction des sphéroïdes, le mouvement du pendule et la figure de la Terre.

1 La théorie de la gravité

La gravité est trop faible pour que l'on puisse aisément calculer la constance de gravitation. Le premier test en laboratoire a été réalisé 71 ans après la mort de Newton par Henry Cavendish en 1798. Il parvient à mesurer la force de gravité entre deux sphères de plomb de 5,1 et 30 cm de diamètre, respectivement.

Ce thème est abordé dans les articles suivants :

- Dans les additions à la CDT pour 1802, p. 485-486, l'article *Attraction des corps terrestres* reproduit succinctement l'expérience de Cavendish. L'auteur trouve une densité de la Terre égale à 5,83 alors que Cavendish l'avait estimée à 5,48 valeur très proche de celle admise actuellement qui est de 5,54 ;
- Les additions à la CDT pour 1819 publient, p. 360-368, un texte d'Arago sur *L'Attraction des Montagnes et ses effets sur les fils à plomb ou sur les niveaux des instrumens d'Astronomie, constatés et déterminés par des observations astronomiques et géodésiques faites en 1810, à l'ermitage de Notre-Dame-des-Anges, sur le Mont de Mimet, et au fanal de l'île de Planier, près de Marseille, etc. ; par le baron de Zach*. Arago écrit « la question qui fait l'objet du nouvel ouvrage de M. de Zach, se lie aux recherches les plus délicates de l'astronomie, et qu'elle mérite toute l'attention des savans ». Il décrit ensuite les huit parties de l'article de Zach et signale quelques anomalies dans ses résultats ;
- Les additions à la CDT pour 1821, p. 284-290, contiennent le mémoire de Laplace *Sur la loi de la pesanteur, en supposant le sphéroïde terrestre homogène et de même densité que la mer* où Laplace donne « une expression très simple de la pesanteur à la surface de la mer, et qui offre cela de remarquable, savoir que si la mer est de même

densité que le sphéroïde, la pesanteur à sa surface est indépendante de sa figure » ;

- Le résultat de Cavendish sur la densité de la Terre est confirmé par Laplace dans son article *Sur la densité moyenne de la Terre*, publié dans les additions à la CDT pour 1823, p. 328-331 et dans lequel il écrit « je ne vois aucune objection à son [Cavendish] résultat qui donne 5,48 pour la densité moyenne de la Terre », estimant « qu'il y a une très grande probabilité que l'erreur est extrêmement petite ».

2 L'attraction des sphéroïdes

C'est essentiellement Poisson qui a publié des articles sur ce sujet dans les additions à la CDT.

Dans les additions à la CDT pour 1829, p. 29-379, il publie *Mémoire sur l'Attraction des Sphéroïdes*. Dans ce long mémoire, il indique que cette question « présente encore quelques difficultés qu'on n'avait pas remarquées, particulièrement dans le cas où le point attiré est voisin de la surface du sphéroïde ». Il établit d'abord des « formules préliminaires », calcule ensuite des « Formules relatives aux attractions des corps quelconques » puis des « Formules relatives aux sphéroïdes très peu différens d'une sphère ». Il donne enfin une application « à une masse fluide homogène, tournant autour d'un axe fixe ».

Poisson complète son précédent mémoire en publiant dans les additions à la CDT pour 1831, p. 49-57, une *Addition au Mémoire sur l'Attraction des Sphéroïdes, inséré dans la Connaissance des Temps pour l'année 1829*. Dans cette addition, suite à des objections faites par le mathématicien écossais Ivory auxquelles il avait répondu dans le *Philosophical Magazine* de juin 1827, il reproduit « une proposition [...] qui est plus générale que celle qui avait été attaquée ».

Dans les additions à la CDT pour 1837, p. 77-85, Poisson publie *Note Relative à l'attraction d'un ellipsoïde hétérogène*, note dans laquelle il démontre un résultat de Jacobi à partir des formules de son mémoire sur l'attraction d'un ellipsoïde.

3 Mouvement du pendule

On trouve, dans les additions à la CDT, de nombreux articles sur le pendule bien qu'il n'ait pas été utilisé pour la définition du mètre malgré le souhait de certains astronomes. Le pendule était pour autant l'instrument par excellence pour mesurer la pesanteur. C'est en effet lors d'un déplacement à Cayenne en 1672 que Richer réalise que le pendule ne marque la seconde équivalente à celle de sa latitude d'origine qu'avec un pendule. C'est ainsi que l'on comprend que la pesanteur n'est pas la même partout autour de la Terre et qu'elle dépend de la latitude. Il en sera ainsi déduit que la Terre est aplatie aux pôles.

Les additions à la CDT pour 1816, contiennent, p. 314-332, un article de Mathieu *Sur les Expériences du pendule, faites par les Navigateurs Espagnols, en différents points du globe*. Il déduit de ces expériences un **aplatissement** de $1/311,16$ pour l'hémisphère austral, un peu plus grand que les aplatissements $1/323,2$ et $1/319$ trouvés pour l'hémisphère boréal et conclut que « les deux hémisphères terrestres, s'ils ne sont pas égaux, ne doivent pas différer sensiblement l'un de l'autre ». Notons que la valeur de l'aplatissement de la Terre actuellement admise est $1/298,26$.

On trouve dans les additions à la CDT pour 1820, deux articles sur le pendule et un article sur le réglage d'une pendule.

- Laplace publie (p. 265-280) un article *Sur la longueur du pendule à secondes*. Il constate d'abord « Parmi toutes les mesures absolues [de la longueur du pendule], celle que nous devons à Borda, me paraît être la plus exacte » et étudie ensuite « l'ingénieux appareil de Borda » ;
- Prony publie (p. 402-406) une *Note sur un nouveau moyen de régler la durée des oscillations des Pendules* dans laquelle il propose un moyen « fondé sur la variation qu'éprouve le moment d'inertie d'un corps, lorsque ce corps ou une partie de sa masse, change de position par rapport à l'axe auquel on rapporte ce moment » ;
- Delambre publie (p. 367-377) une *Méthode pour régler une pendule sur le tems vrai, par des distances zénithales observées avec le cercle de Borda*.

Dans les additions à la CDT pour 1825, le capitaine Edward-Sabine publie, p. 265-301, un *Mémoire où l'on rend compte des expériences faites pour déterminer les degrés d'accélération du pendule, à différentes latitudes*. Il termine son mémoire en établissant « les conséquences que l'on en peut tirer à l'égard de la figure de la Terre, laquelle dérive des degrés d'accélération qui ont été ainsi déterminés ». Ces conséquences sont données dans une **table**, p. 301.

Le capitaine de frégate Duperrey, commandant de l'expédition de la corvette la Coquille publie dans les additions à la CDT pour 1830 :

- une notice *Sur les Expériences du Pendule invariable, faites dans la campagne de la corvette de S.M. La Coquille, pendant les années 1822, 1823, 1824 et 1825* (p. 83-99). Combinant ses expériences avec celles du géographe Louis de Freycinet, à Rawaak, il calcule l'aplatissement de la Terre et il conclut que « l'aplatissement de la Terre est sensiblement [le même] dans les deux hémisphères, et égal à $1/290$ » ;
- un *Résumé des Observations de l'inclinaison et de la déclinaison de l'aiguille aimantée, faites dans la campagne de la corvette de S.M. La Coquille, pendant les années 1822, 1823, 1824 et 1825* (p. 100-113).

Poisson va publier plusieurs articles sur le pendule dans les additions à la CDT pour 1833 et 1834. Il publie deux mémoires dans les additions à la CDT pour 1833,

- *Mémoire sur l'influence réciproque de deux pendules voisins* (p. 3-40). Il considère « le mouvement de deux pendules suspendus aux extrémités d'une barre horizontale d'un petit diamètre, et susceptible de très petites extensions ou contractions dans le sens de sa longueur ». Et il suppose « que les oscillations des deux pendules ont lieu dans le sens de cette longueur ». Il établit d'abord des « Formules générales » (p. 3-17) qu'il applique ensuite au cas de « deux pendules synchrones et de même poids » (p. 17-40) ;
- *Mémoire sur le Pendule de Borda* (p. 41-76). Il indique que le pendule de Borda se compose de trois parties : le couteau de suspension, un « fil très mince, attaché par son extrémité supérieure à la première partie », et « un corps suspendu à l'extrémité inférieure du fil, dont le poids est très grand ». Il détermine la figure du fil à un instant quelconque (p. 41-62), calcule une « correction relative à l'arête du couteau » (p. 62-70), puis une « correction relative à la variation de température » (p. 70-76).

Il en publie trois autres dans les additions à la CDT pour 1834,

- *Mémoire Sur le Mouvement du Pendule dans un milieu résistant* (p. 18-33) dans lequel il explique que dans son mémoire sur le pendule de Borda publié dans la CDT de l'année précédente, « on a supposé que le pendule composé oscillait dans le vide, et que l'amplitude de ses oscillations était regardée comme infiniment petite. Afin de compléter cet examen, on va maintenant s'occuper des corrections nécessaires pour la réduction au vide et aux vibrations infiniment petites » ;
- *Mémoire sur les Mouvements simultanés d'un Pendule et de l'air environnant* (p. 33-62). Il établit d'abord les « Équations différentielles du mouvement du fluide et du pendule » (p. 38-50) puis résout ces équations (p. 50-62) ;

- Ce mémoire est suivi d'une **Addition**, p. 63- 73, dans laquelle il étudie les expériences faites 50 ans auparavant par l'ingénieur hydraulicien Pierre Louis Georges Dubuat, expériences auxquelles « il n'avait pas pensé » dans son mémoire précédent.

4 Figure de la Terre

Les additions à la CDT pour 1821 contiennent, p. 326-331, un mémoire de Laplace **Sur la figure de la Terre, et la loi de la pesanteur à sa surface**. Laplace constate que « les géomètres ont jusqu'à présent considéré la Terre comme un sphéroïde formé de couches de densités quelconques, et recouvert en entier, d'un fluide en équilibre. Ils ont donné les expressions de la figure de ce fluide, et de la pesanteur à sa surface ». Il observe que ces expressions « ne représentent pas exactement la nature. L'Océan laisse à découvert, une partie du sphéroïde terrestre ; ce qui doit altérer les résultats obtenus dans l'hypothèse d'une inondation générale ». Il ajoute « **mais les progrès** de l'analyse [...] donnent le moyen [...] de considérer les continents et les mers, tels que les observations nous les présentent », ce qu'il étudie dans son article.

Laplace publie dans les additions à la CDT pour 1822, p. 284-293, **Sur la Figure de la Terre**, mémoire lu au Bureau des longitudes le 26 mai 1819. Il y explique que « les expériences multipliées du pendule ont fait voir que l'accroissement de la pesanteur suit une marche fort régulière et à très peu près proportionnelle au carré du sinus de la latitude. Cette force étant la résultante des attractions de toutes les molécules terrestres ; ses observations comparées à la théorie des attractions des sphéroïdes, offrent le seul moyen qui puisse nous faire pénétrer dans la constitution intérieure de la Terre. Il en résulte que cette planète est formée de couches dont la

densité croit de la surface au centre, et qui sont disposées régulièrement autour de ce point ».

Les additions à la CDT pour 1827 contiennent un article de Puissant (p. 230-233) **Application de la méthode la plus avantageuse, à la détermination de l'aplatissement du sphéroïde osculateur en France, par la comparaison d'un arc de méridien avec un arc de parallèle**.

Les travaux de Puissant font l'objet, dans les additions à la CDT pour 1829, p. 229-235, d'un rapport de Mathieu fait à l'Académie royale des Sciences **sur un Mémoire de M. Puissant, sur la détermination de la figure de la Terre par les mesures géodésiques et astronomiques**. Le rapporteur conclut que le Mémoire de Puissant « **est tellement lié** à son Traité de Géodésie qu'il en est devenu un complément nécessaire ».

Liouville publie, dans les additions à la CDT pour 1846, p. 85-96, un mémoire **Sur les figures ellipsoïdales à trois axes inégaux, qui peuvent convenir à l'équilibre d'une masse de liquide homogène douée d'un mouvement de rotation**, dans lequel il démontre deux théorèmes sur les figures ellipsoïdales à trois axes inégaux dus à « **un jeune géomètre** de Koenisberg, M. Meyer ».

5 Conclusion

La période des articles mentionnés ici, première moitié du XIX^e siècle, est une période d'intenses expérimentations. Le pendule fait partie intégrante de ces expériences. Son apogée viendra quelques années plus tard lorsqu'en 1851 Foucault fit la démonstration de la rotation terrestre, notamment à l'Observatoire de Paris, dans la salle de la Méridienne. La physique progresse rapidement et l'astrophysique, l'étude des rayonnements et de la nature des corps, va prendre toute sa place. Ce ne sera plus le domaine de la Connaissance des temps.