

## La découverte de Neptune

**James Lequeux, Astronome émérite à l'Observatoire de Paris**

*Dans les derniers Cahier Clairaut (n° 134 été 2011), Pierre Magnien déterminait "au bout de sa plume" à quelle date Neptune terminerait son premier tour dans le système solaire depuis sa découverte. René Cavaroz relatait l'intervention de James Lequeux au lycée Le Verrier de St Lô. Dans l'article qui suit James Lequeux apporte de nombreuses précisions complémentaires sur cette époque.*

L'année 2011 est celle du bicentenaire de la naissance d'Urbain Le Verrier, qui en 1846 a découvert Neptune, la huitième et dernière planète du système solaire. Par une curieuse coïncidence c'est aussi l'année où cette planète a accompli une révolution autour du Soleil depuis sa découverte. C'est celle-ci que je vais maintenant commenter.

De l'Antiquité à 1781, on connaissait seulement six planètes dans le système solaire : par ordre d'éloignement du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter et Saturne. Cette année-là, William Herschel (1738-1822) découvrait par hasard une septième planète, Uranus. On réalisa bientôt que cette planète figurait dans différents catalogues stellaires, où on l'avait prise pour une étoile. L'observation la plus ancienne, due à l'anglais John Flamsteed (1646-1719), remonte à 1690.

En 1820, le Bureau des longitudes, qui régit alors toute l'astronomie française, demande à trois astronomes de l'Observatoire de Paris de calculer les éphémérides des planètes. Celles de Jupiter, Saturne et Uranus échoient à Alexis Bouvard (1767-1843 ; figure 1). Ayant dûment tenu compte des perturbations gravitationnelles que les planètes exercent les unes sur les autres, Bouvard obtient sans problème particulier les éphémérides de Jupiter et de Saturne, mais de grosses difficultés surgissent pour Uranus : Bouvard ne parvient pas à trouver des éléments permettant de représenter le mouvement d'Uranus pendant toute la période où il a été observé. Les écarts entre les positions calculées et les positions observées dépassent la minute de degré, une quantité qui lui paraît bien supérieure aux erreurs d'observations, mêmes anciennes. Finalement, il publie en 1821 des tables qui ne sont basées que sur les observations faites à partir de 1781 ; mais il avoue son impuissance à représenter les observations plus anciennes, et de fait d'autres écarts apparaissent au fur et à mesure que l'on fait de nouvelles observations. Finalement, Bouvard

imagine que les anomalies du mouvement d'Uranus pourraient provenir de l'action gravitationnelle d'une nouvelle "planète troublante" ; d'autres prétendront plus tard qu'ils ont eu les premiers la même idée. Quoi qu'il en soit, elle est dans l'air et se répand rapidement dans le monde scientifique et même dans le grand public, à l'étranger comme en France. Par exemple, le célèbre astronome et mathématicien allemand Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) qui, dès 1830, avait insisté sur l'existence possible de "masses troublantes", en fait le sujet d'une conférence publique en 1840. Il est probable qu'il aurait résolu le premier le problème d'Uranus s'il n'avait pas été malade et si l'élève auquel il en avait confié l'étude n'était mort prématurément.



Fig.1. Alexis Bouvard.

©Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

Bien entendu, les astronomes de divers pays se préoccupent de ce problème irritant : si l'on ne trouve pas la planète troublante, c'en sera fait de la théorie de la gravitation de Newton et l'astronomie, et même toute la physique, sera dans le désarroi. Nous verrons plus loin ce qu'il

en est advenu en Angleterre. En France, François Arago (1786-1853), qui est responsable de l'Observatoire de Paris, souhaite évidemment que le problème d'Uranus y soit traité. Mais Alexis Bouvard est malade et meurt en 1843 ; Arago ne voit personne à l'Observatoire qui soit capable d'aborder un problème aussi difficile. Au cours de l'été 1845, il demande à un jeune astronome extérieur à l'Observatoire, Urbain Le Verrier (1811-1877), de s'y attaquer, car il le croit capable de le résoudre. Le Verrier est alors répétiteur à l'École polytechnique et s'est fait remarquer par des travaux de mécanique céleste sur la stabilité du système solaire, qui témoignent d'une grande maîtrise. Il abandonne les recherches qu'il a en cours pour se consacrer à Uranus. Dès lors, les choses iront très vite, car sa puissance de travail est considérable.



Fig.2. Urbain Le Verrier juste après la découverte de Neptune, portrait par Charles Daverdoing (1813-1895). C'est le seul portrait d'après nature qui existe de Le Verrier. ©Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

Le Verrier examine scrupuleusement toutes les observations disponibles jusqu'en 1845. Il révisé aussi soigneusement les calculs d'Alexis Bouvard. Il découvre que certains termes y ont été négligés à tort, et y trouve plusieurs erreurs : il doit donc les refaire en partie. Mais il doit surtout résoudre un problème nouveau. Jusqu'alors, on avait déterminé la position de chaque planète en tenant compte des perturbations exercées par les autres, dont la position est connue par l'observation. Il s'agit maintenant de déterminer la position d'une planète sur laquelle on ne sait rien à partir des perturbations qu'elle exerce : c'est ce qu'en mathématiques on appelle le problème inverse. Il

est à la fois difficile et complexe, car il y a beaucoup d'inconnues à déterminer.

Aussi Le Verrier doit-il simplifier dès le départ le problème en négligeant l'inclinaison de l'orbite de la planète troublante, et en supposant connue sa distance au Soleil. Pour cette distance, il utilise la loi empirique de Titius-Bode qui reproduit à peu près la suite des distances des planètes au Soleil. Cette loi s'écrit :

$$a = 0,4 + 0,3 \times 2^{n-1}$$

où  $a$  est le demi-grand axe de l'orbite exprimé en unités astronomiques (demi-grand axe de l'orbite terrestre, soit  $1,496 \cdot 10^8$  km), et  $n$  un des nombres entiers consécutifs. Cette loi, dont on ignore toujours si elle a ou non un sens physique, rend assez bien compte des observations, à condition d'utiliser pour  $n=4$  les petites planètes qui se trouvent entre les orbites de Mars et de Jupiter. Pour la huitième planète hypothétique, elle prédit  $a = 38,8$  unités astronomiques.

Voici déjà deux inconnues de moins. Mais il en reste encore beaucoup : en effet, les éléments de l'orbite d'Uranus sont eux-mêmes mal déterminés puisqu'on ne peut pas trouver de solution rendant compte de toutes les observations. L'hypothèse de la planète troublante ne change rien à cet état de choses. Bien sûr, on peut supposer connue l'orbite d'Uranus, en tenant compte des perturbations par les autres planètes que la planète troublante, et établir les écarts entre les positions calculées et les positions observées pour mettre en évidence les anomalies : un exemple est montré figure 3.

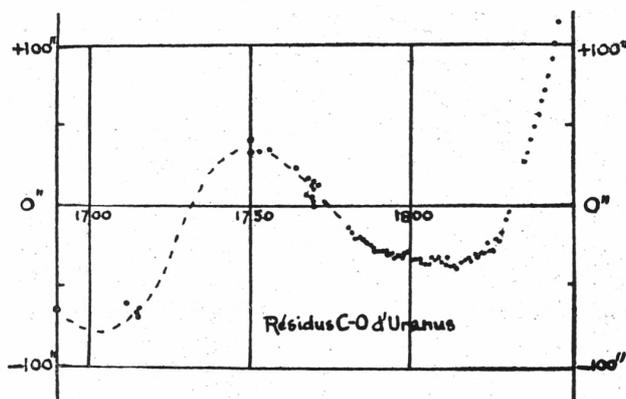


Fig.3. Un exemple d'écart entre les longitudes calculées  $C$  et les longitudes observées  $O$  d'Uranus de 1690 à 1845. Ici, les longitudes calculées, qui tiennent compte des perturbations par Jupiter et Saturne, sont celles de Bouvard dont la théorie, légèrement corrigée par Le Verrier, n'utilise que des observations de 1781 à 1821. Mais cette solution n'est pas nécessairement la bonne, car on aurait pu aussi bien utiliser les observations antérieures à 1781 pour calculer l'orbite d'Uranus. D'après Danjon, A. (1946) *L'Astronomie*, 59, p. 255-278.

Mais il est impossible d'obtenir ainsi la solution du problème puisque d'autres orbites sont possibles pour Uranus, comme l'avait bien vu Bouvard.

Les calculs de Le Verrier sont contenus dans un impressionnant dossier de près de 20 cm d'épaisseur, rempli de feuilles écrites recto verso d'une écriture fine. Il est conservé à l'Observatoire de Paris. Un an après qu'Arago lui ait soumis le problème, le 1<sup>er</sup> juin 1846, Le Verrier est en mesure d'annoncer devant l'Académie des sciences qu'il y a bien une planète troublante, mais il ne peut en donner la position qu'à 10 degrés près. Le 31 août, il a raffiné ses calculs au point qu'il peut affirmer devant l'Académie qu'il a obtenu une position bien meilleure qui devrait permettre de trouver la planète. Mais comment le faire ? Le Verrier pense que la planète doit être faible, plus faible que la limite des cartes du ciel dont on dispose à Paris, si bien que n'importe quelle étoile non cataloguée pourrait être la planète. Il écrit donc à plusieurs astronomes étrangers qu'il sait disposer d'instruments puissants et surtout de bonnes cartes du ciel. Ni les uns ni les autres n'existent à l'Observatoire de Paris, où l'on ne découvrira pas la planète malgré les efforts d'Arago. L'un de ces astronomes étrangers est Johann-Gottfried Galle (1812-1910), de l'Observatoire de Berlin. Le Verrier lui écrit le 18 septembre, la lettre arrive le 23 septembre, et, dès la nuit qui suit, Galle découvre la planète troublante. Le 25 septembre, Galle écrit en français à Le Verrier, qui ne connaît pas l'allemand :

*"Monsieur,*

*La planète, dont vous nous avez signalé la position, réellement existe. Le même jour où j'ai reçu votre lettre, je trouvais une étoile de 8<sup>me</sup> grandeur, qui n'étoit pas inscrite dans l'excellente carte Hora XXI (dessinée par M. le Dr Bremiker) de la collection des cartes célestes publiée par l'Académie de Berlin. L'observation du jour suivant décida que c'était la planète cherchée. Nous l'avons comparée, Mr. Encke et moi, par la grande lunette de Fraunhofer [objectif de 23 cm de diamètre] avec une étoile de 9<sup>me</sup> grandeur [...]. "*

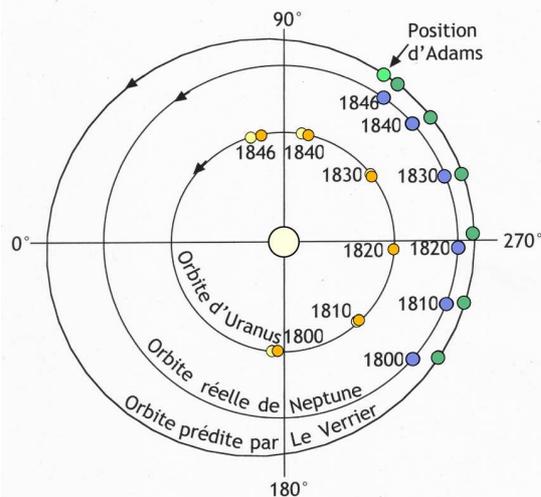
Pourquoi cette mention de l'observation du jour suivant ? Parce que l'astre s'est déplacé, ce qui prouve que c'est bien une planète et non une étoile. Peu après l'annonce de la découverte, la planète est vue à Paris par Le Verrier et à l'étranger par plusieurs astronomes, qui lui écrivent pour le féliciter. Dans son enthousiasme, Le Verrier écrit dans une note du 5 octobre 1846 :

*"Ce succès doit nous laisser espérer, qu'après trente ou quarante années d'observations de la nouvelle planète, on pourra l'employer, à son tour, à la découverte de celle qui la suit, dans l'ordre des distances au Soleil. Ainsi de suite : on tombera malheureusement bientôt sur des astres invisibles, à cause de leur immense distance au Soleil, mais dont les orbites finiront, dans la suite des siècles, par être tracées avec une grande exactitude au moyen de la théorie des inégalités séculaires."*

Son vœu ne s'est pas exaucé comme il l'avait prévu : on a bien trouvé dans le système solaire d'autres astres plus éloignés que Neptune, comme Pluton, mais ils sont trop loin et trop peu massifs pour exercer une influence appréciable sur l'orbite de cette planète, et ils n'ont été découverts que par des recherches systématiques. Cependant, en 1859, Le Verrier découvre une anomalie dans le mouvement de Mercure qu'il attribue à l'action d'une nouvelle planète située entre le Soleil et Mercure. Pendant plus d'un demi-siècle on cherchera en vain cette planète que l'on avait déjà nommée Vulcain, ou un essaim de petites planètes qui auraient produit le même effet. Ce n'est qu'en 1915 qu'Einstein donnera l'explication : l'avance anormale du périhélie de Mercure est un effet de Relativité générale, dont elle constitue la première preuve observationnelle.

À la suite de la découverte de la planète qui trouble le mouvement d'Uranus, un déluge de félicitations pleut sur Le Verrier. Il devient instantanément célèbre, et les honneurs affluent. On pense même à donner à la nouvelle planète le nom de Le Verrier, mais on se ralliera finalement à la tradition pour l'appeler Neptune. Cependant, on voit aussi apparaître des critiques sérieuses, car on réalise que l'orbite réelle de cette planète diffère de façon importante de celle prédite par Le Verrier (figure 4). Il est vrai que Le Verrier avait donné les éléments de la planète avec une précision trompeuse, alors qu'ils étaient par la force des choses assez incertains. Dans son enthousiasme, il avait fixé à leur valeur des limites exagérément étroites : 35 à 38 unités astronomiques pour le demi-grand axe de l'orbite, par exemple, alors que les observations montrent qu'il ne vaut que 30 unités, et 207 à 233 ans pour la période sidérale qui n'est que 164 ans. Par ailleurs, la découverte dès le 10 octobre 1846 par l'astronome amateur anglais William Lassell (1799-1880), possesseur d'un télescope de 60 cm d'ouverture, d'un satellite de Neptune, Triton, permet d'obtenir la masse de la planète en

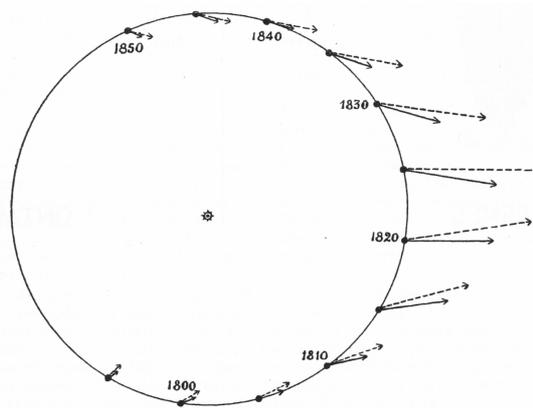
appliquant les lois de la gravitation universelle à l'orbite du satellite, à condition de connaître sa distance. Après quelques mois d'observation, Lassell trouve pour Triton une période d'un peu moins de 6 jours et détermine l'orbite de ce satellite, d'où il peut déduire la masse de Neptune : il obtient 20 fois celle de la Terre en utilisant la distance donnée par Le Verrier, alors que ce dernier avait annoncé 36 (elle n'est que 17,2 fois celle de la Terre en prenant la valeur réelle de cette distance).



**Fig.4.** Les orbites d'Uranus et de Neptune. Les axes repèrent les longitudes vues du Soleil. La position d'Uranus sur son orbite est indiquée pour différentes dates de 1800 à 1846 par des disques orangés ; les disques jaunes représentent schématiquement les positions qu'Uranus aurait dû occuper en l'absence de perturbation par Neptune (l'écart avec les positions réelles est très exagéré dans la figure). L'orbite de Neptune est également tracée, avec sa position pour les mêmes dates (disques bleus). Comme Neptune tourne moins vite qu'Uranus, on voit que son attraction a accéléré Uranus avant la conjonction de 1821, et l'a retardé ensuite. L'orbite de Neptune calculée par Le Verrier est indiquée, avec les positions toujours pour les mêmes dates (disques verts). Vue de la Terre, la position calculée pour la date de la découverte (23 septembre 1846) est 1° en arrière de la position réelle. L'orbite de Neptune calculée par Adams est assez voisine de celle de Le Verrier pour la période considérée, mais sa direction pour la date de la découverte (disque vert clair) est plus de 2° en avant de la position réelle.

À dire vrai, la seule quantité qui soit assez bien déterminée par l'étude des perturbations est l'intensité de la force perturbatrice exercée par Neptune sur Uranus à l'époque de la conjonction des deux planètes, c'est-à-dire le moment où elles sont les plus rapprochées l'une de l'autre, soit en 1821 (figure 5). D'après la loi de la gravitation universelle, elle est proportionnelle à la masse de Neptune et inversement proportionnelle au carré de la distance qui la sépare d'Uranus. La figure 4

montre que la distance entre Uranus et Neptune prédite par Le Verrier pour cette époque n'est pas très différente de la distance réelle : elle est seulement un peu trop grande, ce qui est à peu près compensé – pour la force de gravitation – par la masse exagérée qu'il assigne à la planète. Le Verrier ayant prédit un demi-grand axe trop grand, son orbite est exagérément excentrique alors qu'elle est en fait presque circulaire. Finalement, tout va rentrer dans l'ordre lorsqu'on disposera d'assez d'observations pour que l'orbite de Neptune soit bien déterminée, et nul ne contestera plus la découverte de Le Verrier.



**Fig.5.** La force perturbatrice exercée sur Uranus par Neptune à différentes époques. Les flèches en traits pleins représentent la force réelle, et celles en traits interrompus la force qui résulte des calculs de Le Verrier. On constate que la force perturbatrice prédite par Le Verrier est sensiblement correcte en direction (encore que la date de la conjonction entre Uranus et Neptune soit trop tardive d'un an et demi), mais est surestimée en intensité. D'après les calculs de Danjon, A. (1946) Ciel et Terre, 62, p. 369-383.

Cependant, en Angleterre, un jeune concurrent avait fait le même travail que Le Verrier et avait abouti un an avant lui : John Couch Adams (1819-1892). Mais sa grande timidité ne lui avait pas permis de convaincre le tout puissant Astronome royal, George Biddell Airy (1801-1892), de la validité de ses résultats ; lorsque la recherche a enfin été décidée à Cambridge en apprenant que Le Verrier avait montré que la nouvelle planète devait exister, elle n'a pas été menée avec beaucoup d'intelligence. La concurrence n'a pas empêché Le Verrier et Adams d'établir et de conserver jusqu'à la fin de leur vie une grande estime mutuelle et des relations cordiales. Mais les journalistes se sont emparés de la chose, et il s'en est ensuivi des controverses passionnées sur la priorité de la découverte de Neptune, controverses où le nationalisme a joué un grand rôle. Ce n'est que récemment qu'elles se sont apaisées, et que l'on a reconnu des deux côtés de la

Manche la priorité de Le Verrier, qui est le premier à avoir publié.

La renommée acquise par Le Verrier à la suite de sa découverte en a fait en France l'astronome le plus célèbre et la personnification même de l'Astronomie jusqu'au début du 20<sup>e</sup> siècle. André Danjon, qui dirigeait alors l'Observatoire de Paris, en explique en 1946 les raisons sociologiques :

*"Cette émotion, dont la tradition écrite et orale nous a transmis le témoignage indiscutable, était-elle justifiée ? Le public, il faut bien le reconnaître, était surtout sensible au caractère mystérieux des voies suivies pour arriver jusqu'à Neptune : [...] opération magique, où l'astronome faisait un peu figure de sorcier. Mais ce même public prêtait volontiers une oreille complaisante aux propos des initiés qui commentaient, à son intention, cette prestigieuse découverte, et qui, à sa grande surprise, lui apprenaient que la mécanique céleste venait de triompher d'une crise grave [...]. Un moment menacée dans son infaillibilité, la mécanique céleste, sortie à son honneur de cette difficulté, se trouvait définitivement assise. Pour dire tout en un mot, la découverte de Neptune était un triomphe du déterminisme scientifique, et, bien qu'on n'en puisse attendre aucune conséquence pratique*

*immédiate, elle devait être regardée comme une manifestation éclatante du pouvoir que la science donne à l'homme sur la matière. Tous les esprits réfléchis devaient sentir l'importance d'un tel événement : les disciples d'Auguste Comte y trouvaient des arguments en faveur de la philosophie positive, alors dans l'éclat de sa nouveauté, tandis que, de leur côté, les spiritualistes voyaient avec une intime satisfaction se confirmer l'existence d'un ordre suprême dans l'Univers."*

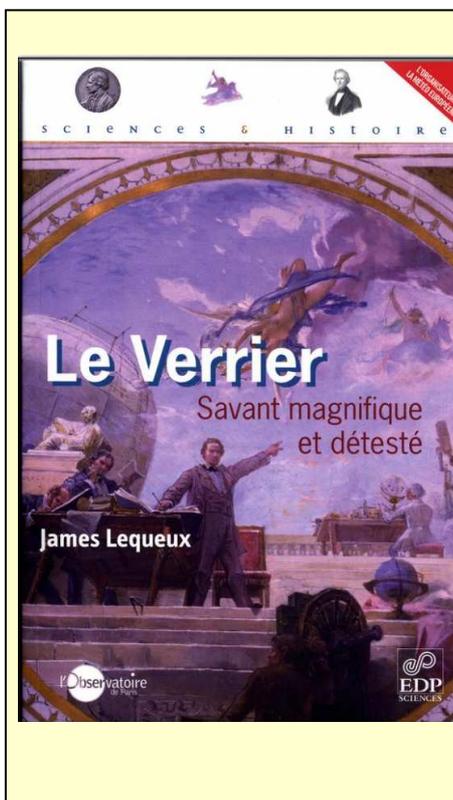
Pour en savoir plus :

Lequeux J. (2009) *Le Verrier, savant magnifique et détesté*, EDP Sciences et Observatoire de Paris.

Voir aussi mon article détaillé et les articles originaux de Le Verrier dans :

<http://www.bibnum.education.fr/physique/astrophysique/la-decouverte-de-neptune-1846>

Les articles de Danjon cités dans les légendes des figures 3 et 5 et d'où est extrait le texte qui termine cet article sont accessibles gratuitement par [http://cdsads.u-strasbg.fr/cgi-bin/iarticle\\_query?journal=LAstr&volume=0059](http://cdsads.u-strasbg.fr/cgi-bin/iarticle_query?journal=LAstr&volume=0059) et par <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/1946C%26T...62..369D> ■



**Le Verrier Savant magnifique et détesté**, une biographie du célèbre savant par James Lequeux.

Difficile d'imaginer hommes aussi dissemblables. Autant Arago, un vrai romantique, était extraverti et généreux, autant Le Verrier ne pouvait que travailler seul et avait des rapports difficiles avec les autres. Mais c'était un magnifique savant. Il a découvert Neptune par le calcul, "du bout de sa plume", et accompli une œuvre immense dont avaient rêvé bien d'autres sans pouvoir la réaliser : la théorie complète du mouvement des planètes dans le Système solaire. Il a réorganisé l'astronomie française, dans la douleur il est vrai, et mis en place un service météorologique international très efficace, ancêtre de Météo France.

Personnage fascinant, Le Verrier a traversé son époque au milieu des haines et des controverses; cependant, son œuvre a constamment été admirée, même de ses pires ennemis, et en a fait l'astronome le plus célèbre du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle.

James Lequeux, astronome émérite à l'Observatoire de Paris, fut le directeur de la station de radioastronomie de Nançay puis de l'Observatoire de Marseille; ancien rédacteur en chef de la revue "Astronomy & Astrophysics", il travaille depuis une dizaine d'années sur l'histoire de l'Astronomie; il a également été commissaire de 3 expositions historiques à l'Observatoire de Paris et auteur de deux ouvrages historiques: "L'Univers dévoilé" et "Arago, un savant généreux" chez [EDP Sciences](http://www.edp-sciences.com).