

# Une brève Histoire de la mécanique céleste

## Épisode 4 - Le Verrier et l'astronomie des invisibles

13 mars 1781, une nouvelle planète est découverte aux confins du système solaire connu dont les dimensions doublent de facto. Elle fera forte impression ainsi que son découvreur. Elle sera surtout l'inspiratrice d'une autre découverte qui fera encore plus forte impression au siècle suivant, quelque six décennies plus tard, en portant la mécanique céleste au sommet de l'astronomie.

11 mars 1811, naissance d'Urbain Jean Joseph Le Verrier qui sera la figure emblématique de cette mécanique céleste triomphante qui donnera naissance à une nouvelle astronomie, l'astronomie de l'invisible, aussi dénommée l'astronomie des invisibles.

Revenons sur ces événements.



FIGURE 1 – Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877)

### 1 Le Système solaire s'agrandit

Par une nuit froide de mars 1781, un astronome amateur aidé de sa sœur découvre accidentellement dans son jardin à Bath en Grande-Bretagne, à l'aide d'un petit télescope de sa fabrication, un objet nébuleux doté d'un disque apparent sensible. Jusque-là il s'était surtout consacré à la musique dont c'était le métier et accessoirement à la construction de petits instruments astronomiques dont c'était devenu le hobby depuis cinq ans. William et Caroline Herschel ne comprennent pas immédiatement qu'ils viennent de découvrir une nouvelle planète, la première depuis l'Antiquité. Cependant, dès l'annonce de la curieuse observation, les astronomes se mettent à pied d'œuvre. L'objet en question se déplace

d'une nuit sur l'autre de telle sorte que très rapidement l'affaire est entendue, il ne s'agit pas d'une comète mais bien d'une planète qui finira par hériter d'un nom issu de la grande mythologie grecque, Uranus. Le nom est fort bien choisi, outre le fait qu'Ouranos (Uranus) est le père de Cronos (Saturne), il fait aussi écho à celui de la muse de l'astronomie, Uranie. On ne soupçonne pas alors le rôle considérable que va jouer cette nouvelle venue dans le manège planétaire au siècle suivant. Avec un membre de plus, la petite famille du Système solaire s'agrandit et avec lui sa taille également puisqu'elle double, Uranus étant deux fois plus éloigné du Soleil que ne l'est Saturne.

Une fois connue l'orbite approximative de la planète, les astronomes se mettent à fouiller les archives pour découvrir qu'elle avait déjà été observée vingt fois et répertoriée comme une étoile fixe de la 6<sup>e</sup> magnitude entre 1690 et 1771. Laplace confie à Alexis Bouvard, qui est devenu son assistant en 1795 la théorie de cette planète en 1820 en s'appuyant sur les expressions analytiques des perturbations causées par Jupiter et Saturne publiées dans son *Traité de mécanique céleste*. Bouvard dispose donc de soixante années d'observations (de 1690 à 1820), pratiquement une orbite complète (la période de révolution d'Uranus est de 84 ans). Il lui est cependant impossible de marier les deux séries d'observations, les anciennes et les modernes, dans une même solution. Il adopte donc le parti de se séparer des anciennes observations « *Laissant, dit-il, aux temps à venir le soin de faire connaître si la difficulté de concilier les deux systèmes tient réellement à l'inexactitude des observations anciennes, ou si elle dépend de quelque action étrangère et inaperçue, qui aurait agi sur la planète.* » Mais de nouveau, des écarts sensibles se font sentir au bout de quelques années à peine si bien que vers 1845, la longitude d'Uranus calculée par Bouvard différait d'environ 2' de la longitude observée, soit des erreurs sur les positions de plus de 14 000km, ce qui était proprement intolérable pour tout astronome qui se respecte !

### 2 Une hypothétique planète troublante ?

Friedrich Bessel dès 1824 est le premier à avancer sans ambiguïtés l'hypothèse d'une planète troublante pour expliquer le mouvement d'Uranus. Bouvard admit dès cette

époque que l'on devait reconstruire les tables de la planète d'Herschel afin de les perfectionner et de pouvoir connaître exactement la valeur des perturbations, et il confia ce soin en 1834 à son neveu, Eugène Bouvard. Il avait l'espérance que, retournant le problème ordinaire des perturbations qui consiste à déterminer leur grandeur d'après la connaissance des mouvements des astres troublants, on pourrait remonter aux éléments de l'orbite d'une hypothétique planète troublante d'après les valeurs observées des différences existant entre les positions réelles d'Uranus et les positions assignées par les calculs qui ne tenaient compte que de l'action de Saturne et de Jupiter. Derechef, Bessel, à la date du 8 mai 1840, écrit :

*« Si les anciennes déterminations ne conviennent déjà point à la théorie, celles d'aujourd'hui s'en écartent plus encore; car actuellement l'erreur est d'une minute entière, et elle s'accroît de 7 à 8 secondes par an, de sorte qu'elle sera bientôt plus considérable. J'ai eu l'idée, d'après cela, qu'un moment viendra où la solution du problème serait peut-être bien fournie par une nouvelle planète dont les éléments seraient reconnus d'après son action sur Uranus et vérifiés d'après celle qu'elle exercerait sur Saturne. »*

François Arago, alors directeur de l'Observatoire de Paris, confia à l'été 1845 la tâche à un jeune mathématicien doué de 34 ans, Urbain Le Verrier, tout juste nommé répétiteur à l'École Polytechnique. Le Verrier repart de zéro. Il détermine à nouveau une solution elliptique à partir des seules perturbations de Jupiter et Saturne et en ne conservant que les observations méridiennes modernes faites entre 1781 et 1845. Les écarts obtenus entre théorie et observations sont réduits à seulement 20,5" au lieu de 2' pour le plus grand écart mais cela reste inadmissible pour Le Verrier. Pour déterminer la planète inconnue qui serait responsable de ces écarts irréductibles, Le Verrier adopte plusieurs hypothèses de départ : La planète doit nécessairement se trouver au-delà de l'orbite d'Uranus sinon ses dérangements se seraient déjà fait sentir dans les mouvements de Jupiter et de Saturne. En se servant de la pseudo-loi de Bode qui indique que les demi-grands axes des orbites planétaires suivraient en apparence une progression géométrique, Le Verrier pose le problème en ces termes :

*« Est-il possible que les inégalités d'Uranus soient dues à l'action d'une planète située dans l'écliptique, à une distance moyenne double de celle d'Uranus? Et, s'il en est ainsi, où est actuellement située cette planète? Quelle est sa masse? Quels sont les éléments de l'orbite qu'elle parcourt? »*

Ses calculs le mènent à une solution capable de représenter les observations 1781-1845 à mieux de 3,4". Le 1<sup>er</sup> juin 1846, il annonce la longitude de la planète troublante et le 31 août sa masse, ses éléments, la taille de son disque apparent ainsi que sa magnitude (éclat visuel). Ainsi, avec une magnitude de 9 et une taille apparente de 3,3", l'objet serait détectable, et son déplacement apparent également, dans une petite lunette d'une dizaine de centimètres d'ouverture. Il lance depuis l'Aca-

démie des Sciences un appel aux astronomes à observer ladite planète dont il donne les coordonnées qui la positionnent dans la constellation du Capricorne à l'est de l'étoile  $\delta$  de cette constellation. La planète serait passée à l'opposition le 19 août, il est donc encore possible de la découvrir dans les semaines à venir.

### 3 Une découverte « au bout de la plume »

À l'Observatoire de Paris, les observations méridiennes routinières de positions d'étoiles se poursuivent imperturbablement. L'Observatoire semble totalement indifférent à l'annonce du mathématicien. Le Verrier, dépité, adresse alors, le 18 septembre 1846 un courrier à Johann Galle, jeune assistant de 34 ans à l'observatoire de Berlin qui lui avait envoyé un an plus tôt un mémoire sur l'analyse et la réduction d'observations faites par l'astronome danois Olaus Roemer à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle. Le Verrier n'avait jamais répondu ni accusé réception mais a cependant bien présent à l'esprit que l'Observatoire de Berlin possède depuis peu une lunette équatoriale de Fraunhofer de 23 cm d'ouverture. Il lui écrit avec beaucoup de déférence laissant percer cependant un tenace parfum de duplicité :

*« J'ai lu avec beaucoup d'intérêt et d'attention la réduction des observations de Roemer que vous avez eu la gentillesse de m'envoyer. La parfaite clarté de vos explications, la complète rigueur des résultats que vous présentez sont à la hauteur de ceux que l'on doit attendre d'un astronome des plus compétents. [...] En ce moment, je voudrais trouver un observateur persévérant, qui serait prêt à consacrer un peu de temps à l'examen d'une partie du ciel dans laquelle il y a peut-être une planète à découvrir. J'ai été amené à cette conclusion par la théorie d'Uranus. [...] Je pourrai alors, Monsieur, vous présenter mes excuses par écrit, si je n'ai pas rempli mon obligation de vous remercier pour l'intéressant travail que vous avez accompli. [...] La position actuelle de ce corps montre que nous sommes maintenant, et que nous serons pendant plusieurs mois, dans une situation favorable à la découverte ».*

Galle, enthousiasmé par cette lettre reçue le 23 septembre, demande immédiatement au directeur de l'Observatoire de Berlin, Johann Encke, la permission de chercher la planète le soir-même, permission qui lui fut accordée avec beaucoup de réticences et après une sérieuse négociation. Grosse journée pour Galle, entre la réception du courrier de Le Verrier, la demande de permission au directeur et le calcul des coordonnées géocentriques de la planète inconnue à partir des éléments fournis par Le Verrier, point de répit pour les braves.

Le soir venu, enfin, Galle emmène avec lui un jeune étudiant en astronomie de 24 ans, Heinrich d'Arrest. Bien lui en a prit car sans lui point de découverte. Dans un premier temps, Galle tente de découvrir un corps céleste ayant un disque apparent directement à l'oculaire de la lunette. Vaine tentative. D'Arrest a alors l'idée de recourir à une carte du ciel de la zone de recherche. Lorsque Galle, passant en revue les objets présents

dans le champ de son oculaire, annonce une étoile de 8<sup>e</sup> magnitude dont l'ascension droite est de 22h 53m 25.84s, d'Arrest lui répond « *Cette étoile n'est pas sur la carte!* ». Victoire, c'est la 8<sup>e</sup> planète! Elle n'est qu'à 52' de la position assignée par Le Verrier. C'est d'Arrest lui-même qui raconta ainsi l'histoire bien plus tard, dans la nuit du 14 juin 1874. Il était entre temps devenu directeur de l'Observatoire de Copenhague et occupait sa nuit sous la coupole à suivre une comète en compagnie d'un autre astronome danois, Johan Dreyer, et à évoquer de vieux souvenirs. Jamais Galle n'en fit état, ni Encke d'ailleurs, mais finit par le reconnaître en 1877 et Dreyer le rendit public en 1882. Cette anecdote résume à elle seule l'état d'esprit des astronomes du XIX<sup>e</sup> siècle... Au soir du 25 septembre, Galle s'empresse d'écrire à Le Verrier pour lui faire part de la découverte. Quant à Encke, il souligne auprès de Le Verrier l'importance des cartes du ciel regroupées au sein d'un atlas céleste dont il avait été à l'initiative en 1826 : « *Il y a eu beaucoup de bonheur dans notre recherche : La carte académique de M. Bremiker, qui, peut-être, n'est pas encore arrivée à Paris, mais que je ferai expédier tout à l'heure, comprend précisément près de sa limite inférieure le lieu que vous avez désigné. Sans cette circonstance infiniment favorable, sans une carte où l'on pût être sûr de trouver toutes les étoiles fixes jusqu'à la dixième grandeur, je ne crois pas qu'on eût découvert la planète. Vous verrez vous-même, en observant cet astre, que le diamètre est beaucoup trop faible pour attirer l'attention, même quand on l'examine avec un grossissement assez fort. Je vous suis donc personnellement obligé d'avoir démontré le prix qu'une telle carte peut avoir dans des recherches scientifiques.* »

Au lendemain de la découverte, le régime de Louis-Philippe décernera tous les honneurs à Le Verrier, il est fait chevalier puis officier de la Légion d'honneur, un poste de professeur de mécanique céleste est spécialement créé pour lui à la Sorbonne, il entre au Bureau des Longitudes. Son de cloche dissonant cependant dans le journal satirique le *Charivari* qui, dans un article du 28 septembre 1846 intitulé « *Nous avons une planète* », relève ironiquement l'incapacité des astronomes de l'Observatoire de Paris à observer la planète... Mais Arago de clamer haut et fort la paternité de la découverte à la face du monde, surtout de celle de la Grande-Bretagne car de l'autre côté de la Manche, on revendiquait la primauté devant revenir à John Couch Adams : « *M. Le Verrier a aperçu le nouvel astre sans avoir besoin de jeter un seul regard vers le ciel; il l'a vu au bout de sa plume* ».

#### 4 L'orbite de la planète Le Verrier n'est pas celle de Neptune!

Peu de temps après, le 10 octobre 1846, un astronome amateur anglais, William Lassell, découvre à Neptune son premier satellite, Triton, à l'aide duquel il est permis de peser la planète qui s'avère alors deux fois plus légère que ne le prédisent les calculs de Le Verrier. De nouvelles observations et la découverte d'une observation ancienne de Lalande, qui avait catalogué la planète

en 1795, comme une étoile fixe, permettent à Sears Walker de l'US Naval Observatory de Washington de déduire précisément les éléments elliptiques de son orbite en janvier 1847. Et là, quelle ne fut la surprise de constater que l'orbite de la planète de Le Verrier ne correspond pas du tout à l'orbite de la planète Neptune. Le Verrier donne à sa planète un demi-grand axe de 36.1539 au (le symbole de l'unité astronomique qui représente approximativement la distance moyenne Terre-Soleil est au pour astronomical unit depuis une résolution de l'Union Astronomique Internationale en 2012) alors qu'il est de 30 au. De plus Le Verrier obtient une excentricité de 0.1076 alors que l'orbite de Neptune est la seconde orbite la plus circulaire de toutes les orbites planétaires - après celle de Vénus - avec une excentricité de 0.009!

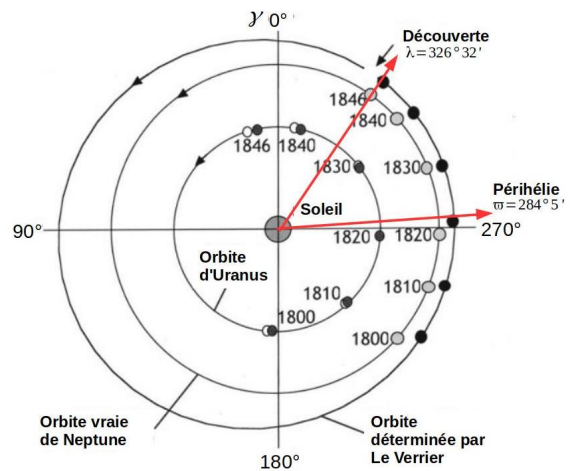


FIGURE 2 – Orbites de Neptune, Uranus et de la planète Le Verrier. Les positions respectives d'Uranus et de la planète Le Verrier pour les années 1810, 1820, 1830, 1840 et 1846 sont représentées par des disques sombres. Les positions correspondantes vraies de Neptune sont représentées par des disques gris. Les disques blancs donnent les positions d'Uranus calculées à partir des perturbations induites par la solution de Le Verrier. La direction du périhélie déterminée par Le Verrier pour sa planète est représentée, elle est très proche de la conjonction de 1821. La longitude héliocentrique ( $\lambda$ ) calculée par Le Verrier pour 1846 est également représentée. Le point vernal ( $\gamma$ ) indique l'origine des longitudes. Il se trouve qu'en septembre 1846, les deux planètes, l'hypothétique et la vraie, sont dans une même direction.

Finalement, la découverte ne tenait-elle pas du hasard ou de la chance? Il est légitime de se poser la question. Remarquons tout d'abord que les perturbations d'Uranus par Neptune sont surtout sensibles aux environs de la conjonction, soit, sur la période 1800-1840, autour de la conjonction de 1822 (voir Fig 2). L'erreur commise sur la masse est compensée par celle sur l'excentricité de sorte que les positions en longitude héliocentrique sont approximativement justes autour de la conjonction, moment pour lequel les forces perturbatrices vont être maximales. Les directions de ces forces seront donc voisines des directions réelles mais les intensités seront trop faibles en admettant un demi-grand axe de 36 au.

Ce défaut sera compensé à la fois par la valeur trop forte de la masse de Neptune trouvée par Le Verrier et par une position du périhélie très proche de la conjonction Uranus/Neptune qui permet de rapprocher Neptune à 32.2 au (au lieu des 30.1 attendus). En outre, son déplacement au voisinage de son périhélie (vitesse de 5.52 km/s) est lui aussi voisin de celui de la véritable planète Neptune (vitesse pratiquement constante sur son orbite de 5.43 km/s, soit un peu plus d'une unité astronomique par an). Ceci n'est cependant plus du tout vrai de l'autre côté de l'orbite, vers l'aphélie, où la vitesse orbitale n'est que de 4.445 km/s, c'est pourquoi, loin du périhélie, la solution de Le Verrier se dégrade très rapidement.

L'action perturbatrice de la nouvelle planète est en définitive à fort peu près identique à celle de Neptune à la fois en direction et en intensité. Ainsi, une combinaison convenable des éléments, dont chacun est très erroné, peut représenter presque exactement le lieu héliocentrique de Neptune.

On peut du reste s'étonner que Le Verrier n'ait pas eu l'idée d'adopter la circularité de l'orbite de la planète troublante comme hypothèse supplémentaire en recherchant ensuite une représentation satisfaisante des observations avec une série d'orbites circulaires dont les rayons auraient été en diminuant de 38 (valeur initiale donnée par la « loi » de Titius-Bode) à 30 au. Étonnant également que la très grande proximité angulaire entre la longitude héliocentrique du périhélie de la planète troublante (285°) et celle de sa conjonction avec Uranus (273° le 22 mars 1821) n'ait pas réussi à éveiller la sagacité de Le Verrier ...

## 5 L'astronomie de l'invisible

La découverte de Neptune constitue l'acte de naissance de ce qui va être appelé « l'astronomie de l'invisible » (ou des invisibles) qui, à partir de petites irrégularités dans le mouvement des astres, est capable de voir ce que les lunettes les plus puissantes de l'époque ne peuvent soupçonner. Plus tôt, Bessel en précurseur de cette nouvelle astronomie avait prédit entre 1834 et 1840 la présence d'un compagnon invisible autour de Sirius, puis autour de Procyon, à partir des irrégularités observées de leur mouvement et dont la confirmation observationnelle éclatante fut apportée en janvier 1862. Cette as-

tronomie, qui va s'occuper des corps invisibles, constitue l'un des plus beaux aboutissements des théories de Newton et de Laplace mais prouve également la nécessité de disposer d'observations toujours plus précises. Elle constituera l'essentiel de l'œuvre scientifique de Le Verrier qui se consacrera à l'édification de théories des mouvements des planètes d'une très haute précision qui serviront jusqu'en 1984 à l'établissement de leurs éphémérides dans la *Connaissance des Temps*, publiée par le Bureau des Longitudes.

Le Verrier s'acharnera à traquer ces corps invisibles toute sa vie durant. Il prédira ainsi en 1851 l'existence d'une nouvelle planète très proche du Soleil, Vulcain, pour expliquer les irrégularités du mouvement de Mercure. Cette prédiction n'eut pas le même succès que celle relative à Neptune. Cependant, ironie du sort, ces irrégularités du mouvement de Mercure mises en évidence par Le Verrier constitueront au début du siècle suivant la première vérification observationnelle de la théorie de la Relativité Générale d'Einstein, c'est-à-dire la première mise en défaut de la gravitation newtonienne. Le Verrier était également convaincu que l'observation de sa nouvelle planète devait, au bout de 30 ou 40 ans, révéler probablement un autre corps invisible au-delà de l'orbite de Neptune. C'est ce qui guida les travaux de Percival Lowell au début du XX<sup>e</sup> siècle qui aboutiront à la découverte de Pluton en 1930. par Clyde Tombaugh

L'astronomie de l'invisible fait encore des émules de nos jours. En 2016, Batygin et Brown (surnommé le « tueur de Pluton » par les Américains parce que sa découverte de l'objet transneptunien Eris en 2005 a décidé l'Union astronomique internationale en 2006 à déclasser Pluton de la famille des planètes pour en faire une *planète naine*) annonce la possible existence d'une 9<sup>e</sup> planète à partir de l'analyse du confinement spatial inattendu et inexplicable des orbites de 8 objets transneptuniens (situés au-delà de l'orbite de Neptune). Cette hypothétique planète aurait un demi-grand axe compris entre 400 et 800 au pour une période de l'ordre de 10 000 ans et sa masse serait entre 5 et 10 fois la masse de la Terre. Un nouveau Neptune se cacherait-il dans les abysses du Système solaire ou existerait-il un syndrome de Neptune? Jusqu'à ce jour, aucune détection par l'observation n'est venue corroborer cette hypothèse, la chasse se poursuit ...