

astronomes savaient calculer les perturbations exercées par une planète B connue sur une planète A. Mais le problème inverse, consistant à déterminer une hypothétique planète B qui serait responsable de perturbations constatées dans la marche d'une planète A, n'avait encore jamais été abordé. C'est du moins ce que croit Le Verrier, car, alors qu'il se met au travail, il ne sait pas qu'un jeune Anglais, John Adams, a presque achevé la première version d'une étude similaire dont il n'a rien publié. Malheureusement pour Adams, ce sont les calculs de Le Verrier, et non les siens, qui conduiront à la découverte de Neptune.

À la différence d'Adams, Le Verrier a fait part au monde scientifique de l'avancement de ses travaux. Le 31 août 1846, il annonce à l'Académie des sciences de Paris ses dernières conclusions sur l'orbite et la position de la planète hypothétique, et le 18 septembre, il les transmet à Galle, avec la suite heureuse que l'on sait. Alors que

L'ESSENTIEL

- Le 23 septembre 1846, un astronome berlinois découvre une nouvelle planète, Neptune, d'après les calculs de Le Verrier.
- Le Verrier estime l'écart entre les positions observée et prédite à moins de un degré.
- Tout à leurs félicitations, ses contemporains relaient ce résultat pourtant incorrect et lui donnent même une autre signification.
- Cette erreur s'est perpétuée jusqu'à aujourd'hui...

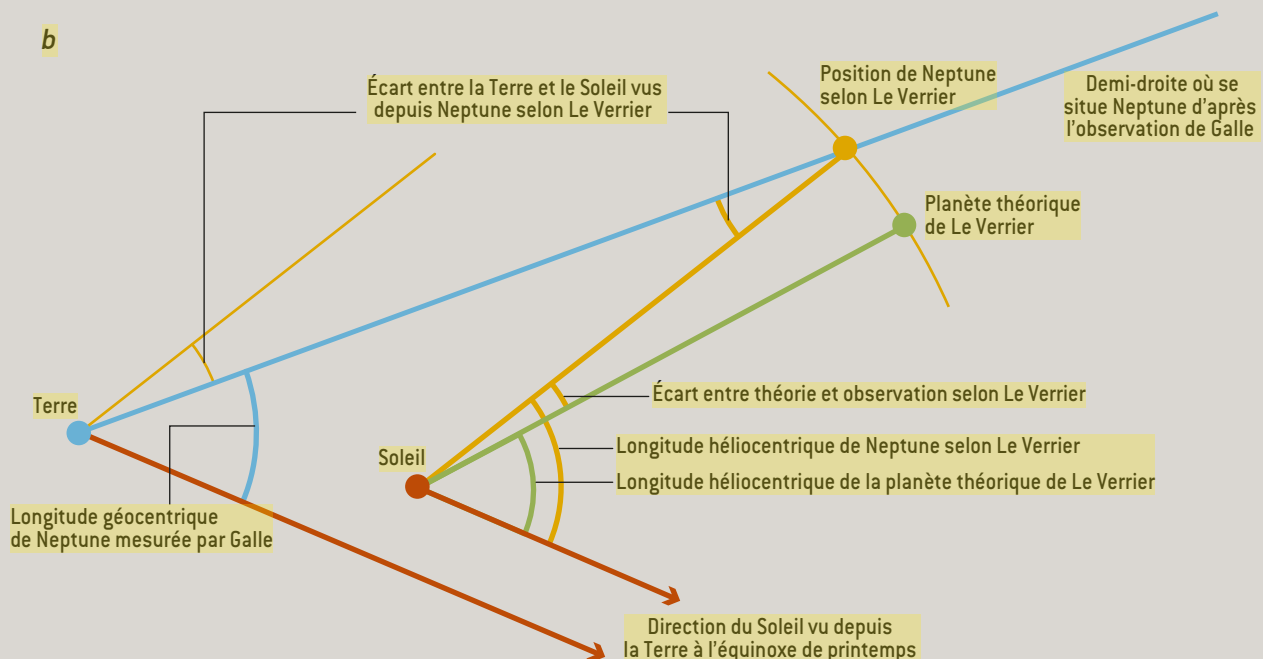
Herschel a rencontré Uranus par hasard, au cours d'observations systématiques, Le Verrier a accompli l'exploit inédit de trouver une planète par le calcul, non en observant le ciel, mais « au bout de sa plume », selon la formule d'Arago.

On se doute que Neptune n'a pas été trouvée exactement là où les calculs de Le Verrier la situaient, mais il fallait que la prédiction fût assez précise pour avoir permis une découverte si rapide. Quelle « erreur » Le Verrier a-t-il commise sur la position réelle de Neptune ? Le 5 octobre 1846, l'astronome répond lui-même à cette question devant l'Académie des sciences. Le résultat de son calcul, dont il ne livre que le schéma (voir la figure page 72), est que Neptune a été trouvée à seulement 52 minutes d'angle (52'), en longitude héliocentrique, de sa position prédite. Il conclut : « Ainsi la position avait été prévue à moins d'un degré près. »

La performance est remarquable, mais le calcul de Le Verrier présente un défaut

portée juste après sa découverte : la longitude héliocentrique de Neptune était la somme de sa longitude géocentrique et de l'écart entre la Terre et le Soleil vus depuis Neptune (*b*, en jaune) – l'angle que Le Verrier nomme la réduction au lieu héliocentrique (voir la figure en haut de la page 72). Or l'ignorance de la distance Terre-Neptune (et donc Soleil-Neptune) interdisait d'accéder à cet angle. Pour connaître cette distance, il aurait fallu disposer d'observations de Neptune sur plusieurs mois afin que son orbite soit calculable.

Le Verrier contourna la difficulté en effectuant une hypothèse osée : il supposa que Neptune se trouvait à la même distance du Soleil que sa planète théorique. C'est ainsi qu'il obtint son écart en longitude héliocentrique de 52'. Mais lorsque, quelque temps plus tard, d'autres observations de Neptune montrèrent que cette hypothèse n'était pas acceptable, qui aurait osé contester un calcul du grand astronome, devenu la gloire de l'astronomie française et qui, à partir de 1854, régna en despote à l'Observatoire ?



Temps moyen de Berlin
Septembre 23 – 12^h 0^m 14^s

Ascension droite observée	328° 19' 16",0
Déclinaison observée	– 13. 24. 8 ,2
Longitude géocentrique conclue	325. 53
Réduction au lieu héliocentrique	0. 59
Longitude héliocentrique au 23 sept.	326° 52'

Mouvement en 0,275 année 32

Longitude héliocentrique conclue au 1^{er} janvier 1847 327° 24'

Longitude déduite des perturbations, et donnée dans le *Compte rendu* du 31 août 1846 326. 32

Différence 0° 52'

LE 5 OCTOBRE 1846, Le Verrier présenta à l'Académie des sciences les grandes lignes du calcul qu'il avait effectué pour estimer à 52' son « erreur » sur la position de Neptune (l'écart entre les positions théorique et observée de la planète). Partant de l'observation faite à Berlin le 23 septembre, il déduisit la longitude géocentrique de la planète, qu'il transforma en une longitude héliocentrique. Enfin, il estima l'erreur en comparant les longitudes héliocentriques théorique et réelle de la planète au 1^{er} janvier 1847, ce qui a peu d'incidence sur le résultat. En revanche, dans le cas présent, passer d'une longitude géocentrique à une longitude héliocentrique n'était pas aussi simple qu'il le suggère ici...

D'après les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. 23, 1846, p. 659.

assez gênant. L'astronome l'a effectué sous l'approximation que Neptune se trouverait dans le plan de l'écliptique (le plan de l'orbite terrestre) à la date considérée, ce qui était presque le cas. Comme la planète théorique est elle aussi située dans ce plan – une hypothèse simplificatrice que Le Verrier a dû faire pour rendre praticable sa recherche –, les 52' représentent l'écart angulaire qui séparerait les deux planètes si elles avaient été observées depuis le Soleil. Mais ce calcul recèle une difficulté.

Un calcul impossible

À la date considérée, Le Verrier dispose de la longitude héliocentrique de la planète théorique. Il lui reste à obtenir celle de Neptune, puis à faire la différence. Mais quand une planète vient d'être découverte, il est impossible de connaître la distance qui la sépare de la Terre et, par suite, du Soleil. Pour y parvenir, il faut disposer d'au moins trois observations de la planète assez espacées dans le temps. L'observation au moment de la découverte définit seulement une demi-droite, issue (du centre) de la Terre, sur laquelle se situe la planète (voir la figure a de l'encadré pages 70 et 71), et cette seule information ne permet pas de déterminer sa longitude héliocentrique.

Ainsi, à l'époque de la découverte, la comparaison des positions des deux planètes – théorique et observée – ne pouvait être que géocentrique. D'ailleurs, le 28 septembre 1846, c'est un écart de 54,7'

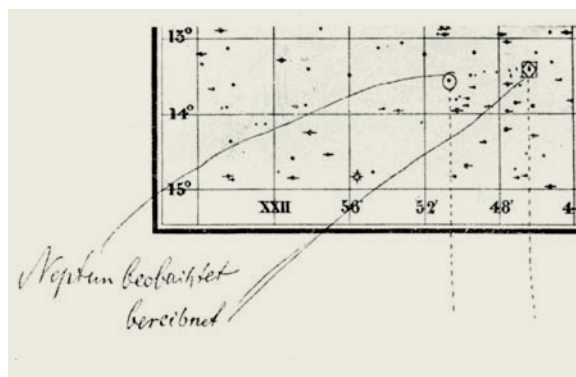
« en longitude » que Encke a transmis à Le Verrier, sans préciser qu'il s'agissait de longitude géocentrique, puisque c'était la seule correctement envisageable.

Alors, comment Le Verrier a-t-il obtenu son résultat ? Tout simplement en substituant à la distance inconnue Neptune-Soleil celle qu'il avait calculée pour sa planète théorique (voir la figure b de l'encadré pages 70 et 71), comme le montre la reconstitution du détail de son calcul. Dans ces conditions, à quoi correspondent ses 52' ? Certainement pas à ce qu'elles prétendent être. Il ne peut s'agir de l'écart entre les valeurs théorique et observée d'un même paramètre puisque la théorie, aussi utilisée pour localiser Neptune, intervient ici dans chacun des deux termes de la différence. En fait, ces 52' représentent l'erreur dont serait entachée la longitude héliocentrique prévue par Le Verrier, dans le seul cas où il n'en aurait commis aucune sur la distance de la planète au Soleil. À l'issue

de son calcul, Le Verrier pouvait tout au plus conclure que l'erreur commise sur cette coordonnée de Neptune était probablement de l'ordre du degré, mais la précision des 52' était illusoire.

On comprend toutefois pourquoi Le Verrier a procédé de cette façon peu orthodoxe. Avant même la découverte de la planète, il avait affiché une confiance impressionnante dans la précision de ses calculs, et le succès rapide des recherches de Galle ne pouvait que le conforter dans cette idée. Il s'est donc empressé de déterminer l'écart entre les positions observée et calculée par la méthode qui lui a semblé la plus commode, même si elle exigeait de substituer, à une distance réelle inconnue, celle qui provenait de sa théorie. Pour lui, les deux distances devaient être quasi identiques.

Le Verrier aurait d'ailleurs eu tort de se priver de cette commodité, puisque personne n'a rien trouvé à y redire. Ainsi,



SUR LA CARTE HORA XXI de Carl Bremker, qui a servi à la découverte, sont indiquées les positions de « Neptune observée (*beobachtet*) » et de « Neptune calculée (*berechnet*) ». D'après leurs coordonnées sur la carte, elles sont écartées d'environ 1° 03', ce que confirme le calcul.

Observatoire de Paris

en 1847, l'astronome et académicien Jean-Baptiste Biot rapporte son écart de 52' sans la moindre objection et, en 1849, John Herschel, astronome comme son père, le découvreur d'Uranus, écrit : « La longitude géocentrique déterminée par le Dr Galle, d'après [son] observation, était 325° 53', qui, convertie en héliocentrique, donne 326° 52', différant de 0° 52' de la position désignée par M. Leverrier. » La « conversion » hardie effectuée par Le Verrier ne lui pose aucun problème.

Si le procédé de Le Verrier a pu paraître tolérable aussi longtemps que rien n'est venu contredire ses résultats, la situation change dès février 1847. À cette époque, profitant à la fois des dernières observations de Neptune et d'une autre effectuée en 1795 par Jérôme Lalande, qui croyait avoir affaire à une étoile, l'Américain Sears Cook Walker est en mesure de calculer l'orbite elliptique de la nouvelle planète. Or cette orbite se révèle notablement différente de celle qu'avait prévue Le Verrier.

Ce dernier avait conclu que l'orbite elliptique avait un demi-grand axe de 36,1539 unités astronomiques (soit environ 36 fois le demi-grand axe de l'orbite terrestre) et une excentricité de 0,10761. Walker, lui, estime ces paramètres respectivement à 30,2504 unités astronomiques et 0,00884. Ces disparités jettent un doute

Le Verrier aurait eu tort de se priver de son hypothèse simplificatrice : personne n'a rien trouvé à y redire.

sur la validité de la théorie de Le Verrier et l'Américain Benjamin Pierce va même jusqu'à déclarer que la découverte de Neptune doit « être regardée comme un heureux hasard » ! Toujours est-il que le calcul des 52' de Le Verrier n'est plus acceptable.

D'ailleurs, en 1852, s'appuyant sur les résultats de Walker, l'Écossais Robert Grant obtient un écart en longitude héliocentrique

de 57'. Pourtant, des astronomes tels que François Arago (1857), Edmond Dubois (1865) ou encore Camille Flammarion dans son *Astronomie populaire* (1880) continuent de mentionner le résultat de Le Verrier sans la moindre objection. Et ce alors qu'une nouvelle erreur est venue entre-temps se superposer à la précédente.

« [Galle] dirigea une lunette vers le point du ciel indiqué par M. Leverrier, et y vit en effet la planète annoncée [...] : le lieu qu'elle occupait réellement était éloigné de moins d'un degré de la position que la théorie lui avait assignée. » Cette phrase est extraite du *Cours élémentaire d'astronomie* (1853) de Charles Delaunay, qui doit avoir en tête les 52' de Le Verrier. Mais s'il sait très bien qu'il s'agit d'un écart en longitude héliocentrique, ce n'est pas ce qu'il écrit : son texte signifie, lui, que dans le ciel de Berlin, la position où Galle a vu Neptune était séparée de celle prévue par Le Verrier d'une distance angulaire (géocentrique !) inférieure à un degré.



Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs formation entreprises

16 axes de formation

Statistiques, informatique et big data
Modélisation et SIG
Génie logiciel
Électronique, optique, métrologie
Matériaux et molécules : mise en oeuvre
Matériaux et molécules : caractérisation
Microscopies
Chromatographies
Spectroscopie en analyse
Spectrométrie de masse
Résonance magnétique nucléaire
Biologie
Bioinformatique
Expérimentation animale
Qualité, environnement
Sécurité, radioprotection

Des formations aux technologies de pointe pour les ingénieurs et les techniciens

Des stages de courte durée (3 à 5 jours), se déroulant dans les laboratoires du cnrs, en effectifs réduits (env. 10 stagiaires)

Une pédagogie basée sur l'expérimentation

La possibilité de stages organisés en intra-entreprise

cnrsformation.cnrs.fr

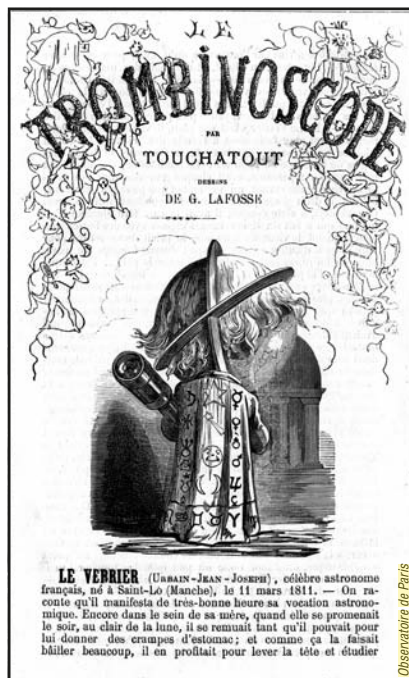
cfe.contact@cnrs.fr 01.69.82.44.55

Or ce qui, chez Delaunay, n'est peut-être qu'une maladresse de langage se retrouve plus tard sous des plumes aussi savantes que celles de Simon Newcomb (1878), Félix Tisserand (1889) ou encore André Danjon (1946). Ces prestigieux auteurs ont tous écrit, sans aucune ambiguïté, que Galle a observé Neptune à moins de 1° – ou même à $52'$ – de la position indiquée par Le Verrier. L'écart en longitude héliocentrique s'est changé en une simple distance angulaire sur la voûte céleste, mesure naturelle de l'« erreur » commise par Le Verrier et qui, d'une certaine façon, a été « observée » à Berlin.

C'est d'ailleurs au calcul de cette distance angulaire que l'on s'attendait de la part de Le Verrier, et cela d'autant plus qu'à l'inverse de l'écart en longitude héliocentrique, elle était accessible à l'époque de la découverte. En se référant au repère géocentrique, les formulations gagnent en simplicité et en crédibilité, avec toutefois l'inconvénient majeur... d'énoncer des contrevérités. Car contrairement à ce qui est affirmé, la distance angulaire en question n'était pas inférieure au degré. Un calcul que Le Verrier et ses successeurs pouvaient facilement effectuer montre qu'elle était d'environ $1^\circ 03'$, en accord avec les indications portées sur la carte céleste utilisée à Berlin (voir la figure en bas de la page 72). Notons que cette distance angulaire dépasse l'écart en longitude géocentrique ($54,7'$). Cette différence est due au fait que Neptune n'était pas exactement sur l'écliptique (sa latitude géocentrique était non nulle).

Une faute d'une étonnante longévité

Il est invraisemblable que personne n'ait noté le défaut du calcul des $52'$ par Le Verrier, au moins à l'époque. Mais il faut reconnaître que chicaner sur un point de détail, sans incidence sur l'énorme travail accompli, celui que la découverte de Neptune venait de propulser sur le devant de la scène scientifique, aurait été mal perçu. Arago avait donné le ton en déclarant que « cette découverte restera un des plus magnifiques triomphes des théories astronomiques, une des gloires de l'Académie, un des plus beaux titres de notre pays à la reconnaissance et à l'admiration de la postérité », et de semblables propos furent tenus à l'étranger. En résumé, comme l'a écrit plus tard Danjon, « l'enthousiasme



SI LE SUCCÈS DE LE VERRIER fut salué, il n'accrut pas le nombre de ses amis, et la presse ne se priva pas de quelques caricatures bien senties, telle celle-ci, publiée en 1872 dans *Le Trombinoscope*. Mais personne ne songea à remettre en cause son calcul des $52'$.

■ SUR LE WEB

L'Observatoire de Paris consacre une belle exposition virtuelle à Le Verrier : <http://expositions.obspm.fr/leverrier/index.html>

■ BIBLIOGRAPHIE

J. Gapailard, *By how much did Le Verrier err on the position of Neptune ?*, *Journal for the History of Astronomy*, sous presse.

J. G. Hubbell et R. W. Smith, *Neptune in America : Negotiating a discovery*, *Journal for the History of Astronomy*, vol. 23, pp. 261-291, 1992.

J. Lequeux, *Le Verrier. Savant magnifique et détesté*, EDP Sciences/Observatoire de Paris, 2009.

ne connut pas de bornes». Le Verrier fut comblé d'honneurs. Notamment, en 1846, la *Royal Society* lui décerna la prestigieuse *Copley Medal* et, en 1854, il prit la tête de l'Observatoire de Paris.

Quant à ceux qui ne se sont pas aperçus de l'erreur, victimes du poids de l'autorité de Le Verrier, ils n'avaient pas pensé à vérifier le bien-fondé d'une affirmation émanant d'une sommité scientifique.

Il est plus inattendu, en revanche, que les $52'$ aient été présentées par la suite – et le soient encore aujourd'hui – comme la distance angulaire entre les deux positions planétaires sur la sphère céleste. Dans ce cas encore, la source primaire est tombée dans l'oubli, mais l'erreur n'est pas le produit d'un seul acteur. Il s'agit plutôt d'une tradition qui s'est installée au fil des décennies, acquérant d'autant plus de force qu'elle était relayée par d'éminents astronomes. Rien d'étonnant, dans ces conditions, que leurs successeurs continuent à tomber dans le piège que leur tend cette tradition fautive.

L'histoire de l'astronomie moderne est émaillée de différents types d'erreurs ayant persisté de nombreuses années. Par exemple, des observations surinterprétées, qui ont fait croire à l'existence d'un satellite de Vénus, ou de canaux sur Mars. Ou des erreurs dues à l'insuffisance des connaissances théoriques de l'époque – par exemple la recherche de la planète Vulcain, que Le Verrier croyait responsable de l'avance du périhélie de Mercure par rapport aux prévisions de la mécanique céleste, alors qu'il s'agit d'un phénomène relativiste. Ou encore des erreurs historiques comme celle de l'attribution de la théorie de l'expansion de l'Univers à Edwin Hubble en 1929 et non à Georges Lemaître, qui l'a pourtant devancé de deux ans.

Cependant, les inexactitudes sur l'« erreur » de Le Verrier sont d'une tout autre nature. Il s'agit ici d'astrométrie classique. Les erreurs commises ont perduré au-delà d'un siècle et demi, alors qu'elles auraient pu être détectées dès l'origine. Sans doute s'agit-il d'erreurs sans incidence, anecdotiques par rapport à l'événement considérable que fut la découverte de Neptune. Il reste que ces défauts mettent en lumière un curieux dysfonctionnement d'une communauté scientifique. Malgré la nature numérique de l'erreur scientifique, des inexactitudes ont été entretenues par ceux-là mêmes qui semblaient pourtant tout désignés pour les pointer du doigt... Le cas est-il unique ? ■