

Le centenaire de la découverte de Neptune (1).

On trouverait sans peine, dans l'histoire des sciences, mainte découverte plus utile, au sens vulgaire du mot, que la découverte de Neptune; on en trouverait aussi de plus riches en conséquences pour le développement de la science et le progrès de l'esprit humain. Mais on en chercherait en vain dont le retentissement ait été plus grand, les échos plus prolongés, et dont les contemporains aient été plus vivement frappés. 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, et faire sortir cette planète comme une muscade, d'une liasse de papiers noircis, d'un grimoire de chiffres et de formules : 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; que, pendant quelques dizaines d'années, elle s'était trouvée impuissante à expliquer de sensibles irrégularités du mouvement d'Uranus, mais que la cause de ces désordres était enfin trouvée, la nouvelle planète en étant seule responsable. Un moment menacée dans son infaillibilité, la mécanique céleste, sortie à son honneur de cette difficulté se trouvait définitivement assise. Pour tout dire d'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.

Pourtant, il faut bien l'avouer, l'intérêt suscité par la découverte de la nouvelle planète ne restait pas cantonné exclusivement sur les sommets de la philosophie. Le Verrier, qu'on avait d'abord acclamé comme l'auteur de la découverte, connut bientôt l'envers de sa jeune gloire. On la lui disputa; on lui apprit qu'il avait un rival, J. C. Adams. On alla plus loin, et certains mirent la découverte de Neptune au compte du hasard. De longues et violentes polémiques éclatèrent entre les astronomes : les Français se querellèrent, les Anglais les imitèrent, enfin les savants des deux pays se trouvèrent aux prises pour une question de priorité. L'élément passionnel, qui est le pain de l'opinion publique, ne faisait pas défaut et les gazettes étaient pleines de ces batailles de savants. Je ne pourrai taire complètement l'histoire anecdotique de la découverte de Neptune, tant elle est intimement liée à son histoire scientifique. Au surplus, elle ne manque pas de piquant.

Jetons d'abord un rapide coup d'œil sur l'état de l'astronomie à la mort de Laplace, en 1827. L'œuvre de ce grand géomètre avait été consacrée au problème des perturbations, problème facile à énoncer, mais dont la solution avait exigé les efforts de toute une génération de mathématiciens : Clairaut, Euler, d'Alembert, Lagrange, Laplace lui-même. Il s'agissait de tirer les conséquences d'une loi bien simple en apparence, à laquelle est attaché le

(1) Conférence faite à la tribune de la S. B. A. le 26 octobre 1946, lors de la séance inaugurale de la session 1946-1947.

nom de Newton, illustre entre tous : « les corps s'attirent en raison directe de leurs masses et en raison inverse du carré de leur distance ». Rien n'est plus aisé que de calculer, à un instant donné, les forces appliquées à chacun des corps du système solaire : il suffit de former la résultante des attractions exercées sur cette masse par chacune des autres. C'est lorsqu'on cherche à prévoir la nature des mouvements déterminés par ces forces de gravitation que les difficultés se présentent : difficultés analytiques, dont la Nature, disait Fourier, n'a nul souci.

Toutefois, dans le cas du système solaire, des circonstances heureuses rendent la solution du problème accessible, sous une forme très approchée, au prix, il est vrai, de calculs longs et pénibles, mais dont l'exécution pratique peut être menée à bien avec de la méthode et de la persévérance. Grâce à sa masse, qui vaut environ 700 fois celle de toutes les planètes réunies, le Soleil occupe une place prépondérante et mérite vraiment son nom d'astre central. Les grosses planètes, Jupiter et Saturne, viennent bien loin en arrière, leurs masses étant respectivement 1.000 et 3.000 fois plus faibles que celle du Soleil. Il y a donc une énorme disproportion entre les attractions qu'exercent, sur la terre, par exemple, d'une part, le Soleil, d'autre part l'ensemble des autres planètes. Il est facile de s'assurer que la force de gravitation qu'exerce Jupiter sur notre globe n'est guère que la 30.000^e partie de l'attraction solaire.

Nous obtiendrons donc une représentation des mouvements célestes très proche de la vérité si nous supposons que les planètes qui gravitent autour du Soleil sont soumises seulement à son attraction, et si nous négligeons les forces qui s'exercent entre elles. En d'autres termes, le problème des mouvements planétaires se réduit, en première approximation, au problème des deux corps, chaque planète se mouvant, par rapport au Soleil, comme si elle était seule. Ce problème a été résolu complètement et rigoureusement par Newton ; et l'on établit sans peine que l'orbite de la planète est une ellipse dont le Soleil occupe un foyer, le rayon vecteur balayant des aires proportionnelles aux temps. On retrouve ainsi, par une voie déductive, les lois que Képler avait établies, au début du XVII^e siècle, à l'aide des observations de Mars recueillies par Tycho Brahé. Quant à la troisième loi de Képler, qui fournit une relation entre les grands axes et les durées de révolution, elle se déduit immédiatement de l'expression théorique du moyen mouvement lorsqu'on suppose nulles les masses des planètes, hypothèse équivalente à celle que nous avons faite tout à l'heure quant à leurs attractions mutuelles.

Dans quelle mesure les lois de Képler représentent-elles les mouvements célestes ? Des observations de très haute précision ne sont pas nécessaires pour mettre en évidence les écarts entre les positions qu'on peut calculer en appliquant strictement ces lois, et les positions observées. Képler avait déjà constaté certaines anomalies dans le mouvement des planètes Jupiter et Saturne. Les attractions mutuelles sont des forces très petites devant la gravitation solaire, mais elles s'exercent d'une manière continue, et leur effet, pour être lent, n'en est pas moins progressif. Les planètes s'écartent très lentement des orbites que les lois de Képler leur assignent, toutefois les écarts deviennent sensibles avec le temps. Ils ont reçu le nom de perturbations, et les forces qui les produisent sont appelées forces perturbatrices. La mécanique céleste est l'art de calculer les perturbations.

On ne saurait, sans le secours de l'analyse, donner une idée de cet art, mais on peut, ici encore, mentionner les circonstances spéciales qui, dans le

cas du système solaire, permettent d'atteindre une solution approchée du problème, bien suffisante pour la pratique. Le calcul des forces perturbatrices suppose connues les distances des planètes entre elles. Comme les perturbations sont petites, on pourra négliger ici leurs effets sur les distances, et l'on calculera celles-ci, en première approximation, en mettant à profit les lois de Képler. Or, les mouvements képlériens sont périodiques. Supposons, pour fixer les idées, que nous étudions le mouvement de la Terre perturbé par Mars. Les deux planètes reviennent en conjonction tous les 780 jours, cet intervalle étant égal à la révolution synodique de Mars. La force perturbatrice due à Mars sur la Terre varie donc périodiquement, avec cette même période de 780 jours. On peut la représenter par des développements périodiques de forme relativement simple, en la décomposant en un certain nombre de forces élémentaires simplement périodiques, les effets de chacune d'elles, prises séparément, étant faciles à prévoir. La perturbation se trouve décomposée en un très grand nombre de termes, et cette multiplicité constitue en elle-même une sérieuse difficulté; mais le calcul correspondant à chacun d'eux est relativement aisé. Les spécialistes de la mécanique céleste sont du reste d'intrépides calculateurs, entraînés au maniement d'un très lourd appareil d'algorithmes et de nombres.

Laplace avait donné, dans son célèbre traité, l'expression des perturbations de toutes les planètes connues, mettant ainsi le point final à l'œuvre des géomètres. La tâche des astronomes commençait. C'est à ceux-ci, en effet, qu'il incombait de traduire en tables les résultats de la théorie, après avoir demandé aux observations les valeurs exactes de toutes les quantités restées jusque là indéterminées. Or, la détermination des éléments des grosses planètes et de leur masse est, à elle seule, une très vaste entreprise, dont il est nécessaire d'exposer ici la nature. Supposons qu'on veuille déterminer les éléments de l'orbite de la Terre. Ce corps céleste étant perturbé par les autres planètes, ses positions rapportées au Soleil, ne se placent pas sur une ellipse képlérienne, mais sur une courbe non susceptible d'une définition géométrique simple, et qui n'est du reste pas une courbe fermée. Mais si l'on calcule la valeur des perturbations de la Terre, et si l'on en corrige les positions données par l'observation, les positions corrigées se placeront sur une ellipse bien déterminée dont le Soleil occupera un foyer. C'est du moins ce qui se produira si, d'une part, les prémisses de la théorie sont correctes, c'est-à-dire si la loi de Newton est rigoureusement vérifiée, et si, d'autre part, les calculs ont été conduits avec toute l'exactitude nécessaire. On déterminera les éléments de l'ellipse décrite par la position corrigée, puis on utilisera ces éléments pour calculer le mouvement de la Terre dans l'avenir, mouvement qu'on aura soin de corriger en y incluant les perturbations. Les tables ainsi obtenues représenteront les positions obtenues postérieurement à leur établissement, comme elles représentent les positions obtenues avant cette époque.

Le décret de la Convention qui, en 1795, avait créé le Bureau des Longitudes, chargeait expressément cet organisme de perfectionner les tables astronomiques. Sous la haute direction de Laplace, la besogne fut répartie entre les astronomes éprouvés : Delambre, Alexis Bouvard, Burckhardt. C'est à Bouvard qu'étaient échues les tables des 3 grosses planètes alors connues, Jupiter, Saturne et Uranus. Il s'attaqua à la dernière en 1821; il rencontra alors des difficultés inattendues, qui lui parurent insurmontables.

Uranus avait été découvert fortuitement par Herschel 40 ans plus tôt, en 1781. Cette planète, dont la période est de 84 ans, n'avait donc pas

accompli, depuis sa découverte, la moitié de sa révolution, mais elle avait été observée une vingtaine de fois, comme une étoile, entre 1690 et 1781, ce qui étendait à 131 ans la période couverte par les observations. Celles des 40 dernières années étaient de beaucoup les meilleures, cela va sans dire, mais les autres, par leur ancienneté, rachetaient leur incertitude.

Bouvard calcula les perturbations d'Uranus par les autres planètes, l'action de Saturne étant la plus considérable, et il en corrigea les positions observées, mais sans parvenir à déterminer une ellipse képlérienne. Les observations, dépouillées de l'effet des perturbations, auraient dû obéir aux lois de Képler, mais en fait, elles s'en écartaient. Bouvard prit alors le parti le plus sage, et, sans trancher la difficulté, il s'attacha à représenter le mieux possible les observations les meilleures, c'est-à-dire les plus récentes, « laissant aux temps à venir, écrivait-il, le soin de faire connaître si la difficulté de concilier les deux systèmes (c'est-à-dire les positions antérieures à 1781 et les positions postérieures) tient réellement à l'inexactitude des observations anciennes, ou si elle dépend de quelque action étrangère et inaperçue qui aurait agi sur la planète. »

Bouvard posait-il correctement son dilemme ?

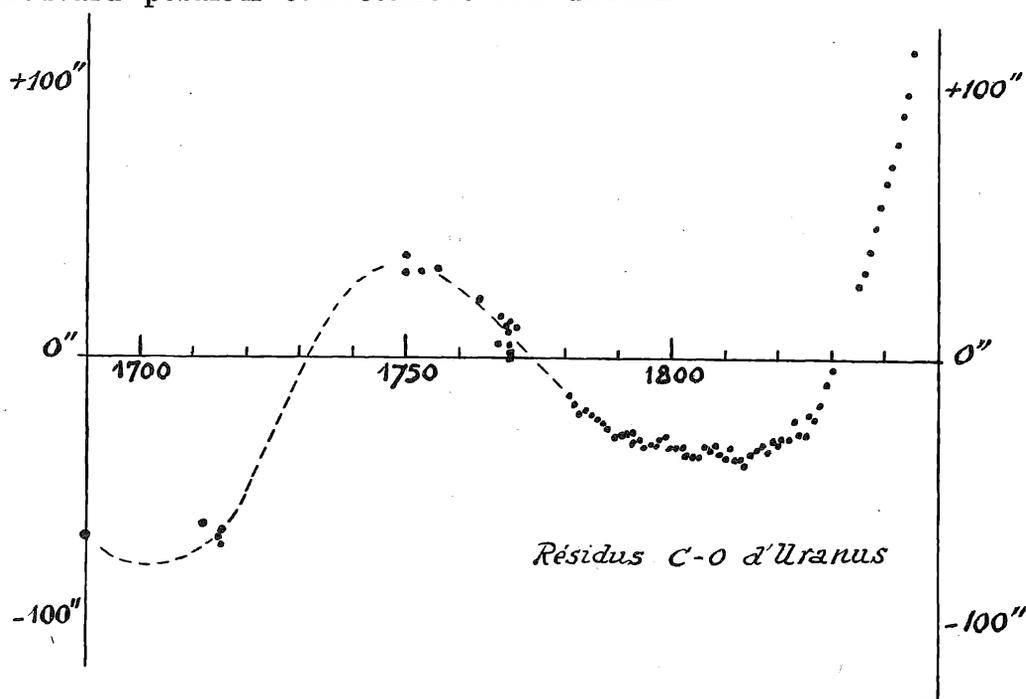


FIG. 1. — Différences entre les longitudes calculées et les longitudes observées d'Uranus (1690-1845). Valeurs rapportées par Le Verrier aux tables de Bouvard, après correction de celles-ci.

Il est permis d'en douter. Jetons un coup d'œil sur la figure 1 représentant les écarts entre les longitudes observées et les longitudes calculées à l'aide des tables de Bouvard (revues par Le Verrier qui y avait relevé quelques erreurs). Il est aisé de tracer une courbe continue passant à moins de quelques secondes de tous les points. Il s'agit donc d'écarts systématiques et non d'écarts accidentels, puisque leur dispersion est faible. Le désaccord général de la théorie et de l'observation est donc bien réel et ne doit pas être mis au compte des erreurs d'observation. Mais, cette explication éliminée, il reste le choix entre deux autres hypothèses dont une semble avoir échappé à Bouvard : ou bien le mouvement d'Uranus est perturbé par une cause inconnue, ou bien la loi de Newton n'a pas le

caractère de rigueur qu'on lui attribue. Douter de l'exactitude de ce grand principe eût sans doute paru sacrilège aux contemporains de Laplace, aux témoins des succès remportés par la mécanique céleste dans tous les domaines qui en relèvent. Et puis, Bouvard espérait sans doute que de nouvelles observations d'Uranus confirmeraient la correction de ses tables et qu'ainsi, toutes les difficultés qu'il avait rencontrées s'évanouiraient. Vaine illusion ! Dès 1830, le désaccord était de nouveau flagrant, inadmissible. Ainsi, le sacrifice des observations anciennes n'avait pas assuré une représentation satisfaisante des observations les plus récentes et les plus précises, et le mouvement d'Uranus jetait indiscutablement un défi à la mécanique céleste.

Les astronomes ressentirent vivement la gravité de cet échec. Toucher à la loi de Newton, c'était saper l'édifice de la science dans ses fondations : on ne s'y résignerait qu'à la dernière extrémité. L'idée que le mouvement d'Uranus était soumis à quelque action perturbatrice était donc admise par la majorité. On pouvait supposer l'existence d'un gros satellite d'Uranus, ou bien invoquer la proximité passagère d'une comète ou le frottement causé par un milieu résistant. Mais l'hypothèse la plus simple était celle d'une grosse planète, circulant au delà d'Uranus et perturbant sa marche, sans troubler sensiblement celle de Saturne. Telle était l'opinion la plus commune au cours des années 1830. On la trouve exprimée dans la correspondance de Airy avec Hussey et avec Eugène Bouvard, le neveu d'Alexis ; dans les conversations de Bessel avec Sir John Herschel, etc. Elle devient si familière que Mädler la mentionne dans son *Astronomie Populaire*. On parlait beaucoup, en somme, de la planète supposée, mais personne ne la cherchait. Pourquoi ?

C'est que sa recherche devait entraîner les astronomes dans un labyrinthe où nulle Ariane ne pouvait les guider. Le calcul des perturbations, entièrement codifié par Laplace, n'avait plus de secrets pour personne, mais il s'agissait ici, du problème inverse : étant donnée une orbite perturbée, remonter à la cause des perturbations. Un peu de réflexion va nous faire juger de sa difficulté.

Les positions d'Uranus, corrigées des perturbations connues, faciles à calculer, ne se placent pas sur une orbite képlérienne déterminée. Il s'agit de les y ramener, en les corrigeant de l'action perturbatrice causée par l'existence d'une nouvelle planète. Les 6 éléments elliptiques de cette planète troublante, et sa masse, voilà déjà 7 inconnues à déterminer ; mais ce n'est pas tout ! En effet, nous ne savons pas sur quelle ellipse viendront finalement se placer les positions corrigées d'Uranus, quand nous aurons tenu compte de la planète supposée, puisque nous ignorons ce que Le Verrier appelait, dans le langage de l'époque, la quantité des perturbations. Les 6 éléments elliptiques d'Uranus, eux aussi, doivent donc être comptés au nombre des inconnues, lequel se trouve ainsi porté à 13.

Or, on enseigne en algèbre qu'il suffit, sous certaines conditions, de 13 équations pour déterminer les valeurs de 13 inconnues, mais on ne saurait étendre cette conclusion au problème actuel. En effet, les données, à savoir les positions d'Uranus fournies par l'observation, sont entachées d'erreurs accidentelles de l'ordre de quelques secondes pour la longitude. Les équations s'établissent en égalant les longitudes observées à une certaine expression littérale, impliquant les quantités inconnues à déterminer. Mais il faudrait ajouter à chacune d'elles une inconnue occulte, à savoir, l'erreur commise sur la longitude observée, dont nous connaissons seulement les limites, mais non la valeur ni le signe. Le nombre des équations que nous

pourrons écrire, égal à celui des observations utilisées, pourra dépasser de beaucoup celui de nos 13 inconnues apparentes : il sera toujours inférieur de 13 unités à celui des inconnues réelles, celles-ci incluant les erreurs d'observation. Aussi, les méthodes courantes de l'algèbre ne sont-elles, ici, d'aucun secours.

Si du moins les équations à résoudre étaient linéaires, on pourrait songer à leur appliquer l'une des méthodes imaginées par Gauss ou par Cauchy, et qui fournissent les valeurs les plus probables des inconnues quand les équations, en nombre surabondant, contiennent des données numériques entachées d'erreurs. Malheureusement, certaines inconnues du problème des perturbations inverses entrent dans les équations sous une forme transcendante. Il est facile de le montrer pour le grand axe de l'orbite de la planète troublante. La force perturbatrice en dépend, puisqu'elle est fonction de la distance de la planète troublante à la planète troublée. Mais la durée de la révolution de la planète troublante en dépend aussi, en vertu de la troisième loi de Képler. Or, la durée de la révolution synodique de cette planète par rapport à Uranus est un élément essentiel du calcul de la force perturbatrice. Le demi-grand axe intervient donc sous deux formes différentes dans la théorie; c'est une inconnue particulièrement rebelle.

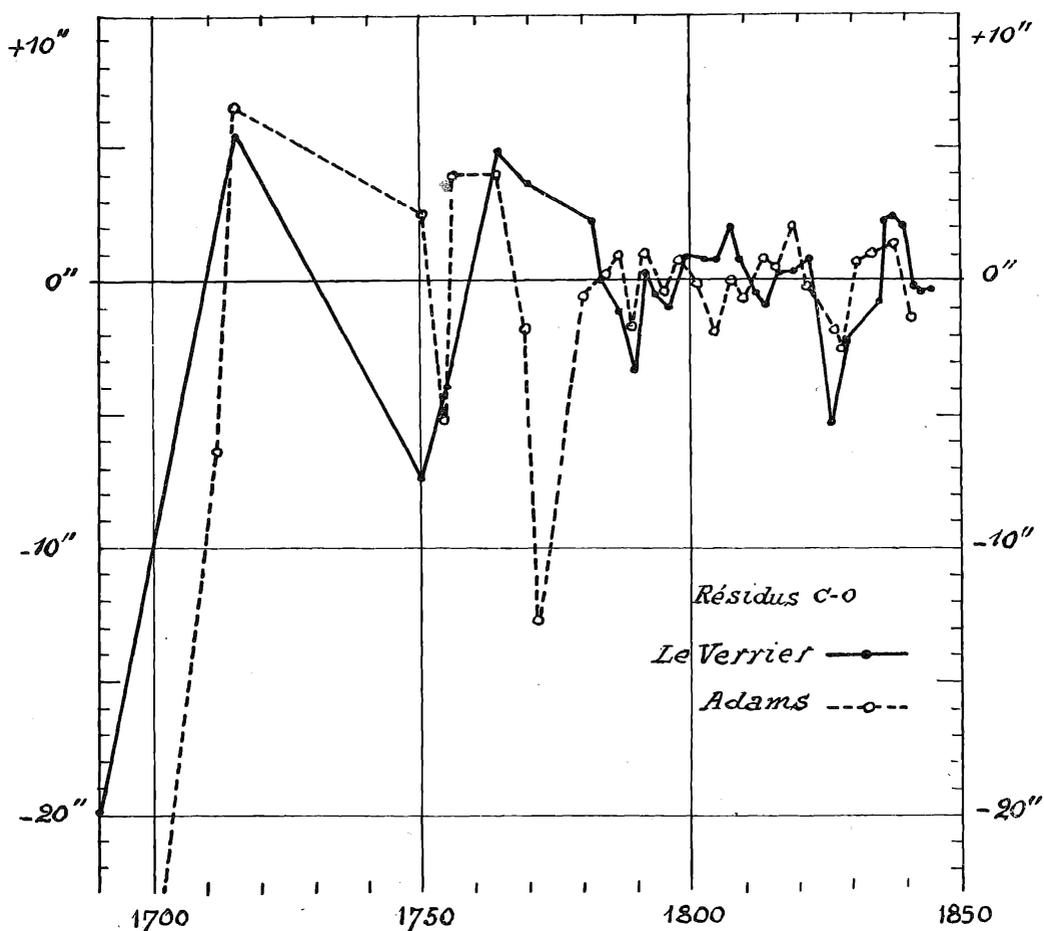


FIG. 2. — Ecarts entre les longitudes calculées et les longitudes observées d'Uranus, compte tenu des perturbations causées par la planète troublante hypothétique.

Mais en voilà assez pour justifier l'hésitation des astronomes à entreprendre une recherche à la fois aléatoire et hérissée de difficultés, et du reste, sans précédent. C'est donc avec un étonnement mêlé de sympathie admi-

native, que nous allons voir un jeune étudiant de 23 ans, John Couch Adams, aborder cette tâche redoutable.

Il se l'était assignée dès l'âge de 21 ans, en un memorandum que l'on conserve à Cambridge. « Au début de cette semaine, écrivait, en 1841, le jeune étudiant, j'ai formé le dessein d'étudier, dès que j'aurai pris mes grades, les irrégularités d'Uranus qui n'ont pas encore été expliquées, pour voir si on peut les attribuer à une planète extérieure inconnue, et pour déterminer, si possible, approximativement, les éléments de son orbite, ce qui conduirait à sa découverte ».

Devenu fellow de St-John's College, à Cambridge, il imagine une méthode d'approximations à la fois simple et élégante pour calculer les inconnues, non sans avoir judicieusement réduit, au préalable, le nombre de celles-ci. Tout d'abord, la planète cherchée ne produisant pas de perturbations sensibles sur la latitude d'Uranus, il est permis de la supposer dans l'écliptique, et de tenir pour définitifs les éléments qui déterminent le plan de l'orbite d'Uranus. D'autre part, la détermination du demi-grand axe de la planète troublante soulevant, comme on l'a dit, des difficultés analytiques insurmontables, Adams fait à son sujet une hypothèse vraisemblable en le supposant double de celui d'Uranus. En effet, la même relation existe, approximativement, entre les orbites de Saturne et de Jupiter et celles d'Uranus et de Saturne. Adoptant pour cette inconnue la valeur 38, Adams n'a plus que 8 quantités à déterminer. Après deux années de travail, il est en mesure de communiquer à Airy, Astronome Royal, les éléments elliptiques et la position de la planète cherchée. Sa note, datée du mois d'octobre 1845, montrait que, dans la nouvelle théorie, les écarts entre les positions observées d'Uranus et les positions calculées étaient réduits à moins de 2'' pour la période postérieure à 1781, et que les observations plus anciennes étaient représentées d'une manière acceptable (sauf la première, celle de 1690, pour laquelle un écart de 44'' subsistait). Si l'on songe que l'erreur des tables de Bouvard atteignait 2' en 1845, on jugera par là du succès obtenu par Adams. (fig. 2).

Airy, absent de Greenwich lorsqu'Adams s'y était présenté, répondit au début de novembre, en demandant si la théorie qui corrigeait si bien, en longitude, les erreurs des tables, corrigeait également les erreurs du rayon vecteur. L'attention d'Airy avait été appelée sur ce point par les anomalies de la longitude géocentrique au moment des quadratures d'Uranus, et l'Astronome Royal avait mentionné ce fait dans plusieurs de ses publications. Ce point lui tenait à cœur. Mais Adams ne répondit pas, et sa correspondance avec Airy ne reprit qu'en septembre 1846. Ce silence justifie la réserve d'Airy, qui, à l'époque de ces événements, ne paraît pas avoir eu confiance dans les résultats du jeune astronome de Cambridge. Interrogé par un ami, longtemps après, sur les motifs de ce silence, Adams répondit : « Sans doute, j'aurais dû écrire, mais la question me semblait futile ». Il eut tort de se laisser oublier, et sa négligence lui coûta la gloire d'une découverte sans partage. Car, s'il eut le mérite incontestable d'avoir, le premier, seul et sans guide, résolu le problème inverse des perturbations, il ne sut pas faire comprendre l'intérêt de ses travaux à celui qui, seul, pouvait en assurer la publication et organiser la recherche optique de la nouvelle planète. Aucune tentative ne fut faite en Angleterre pour voir cet astre dans une lunette jusqu'au jour où, un nouveau champion étant entré en lice, il fit connaître ses résultats dans le moindre détail, et vint apporter à ceux d'Adams, restés inédits, la confirmation qui leur manquait aux yeux d'Airy. C'est l'Astronome Royal lui-même qui le déclare, dans un mémoire publié

après la découverte de Neptune : « Jusqu'alors, j'avais considéré que les recherches de M. Adams laissaient place au doute quant à leur exactitude car j'estime que les résultats de calculs algébriques et numériques aussi compliqués que ceux du problème inverse des perturbations risquent d'être entachés d'erreurs... Mais [après la lecture du second mémoire de Le Verrier], je n'éprouvais plus désormais aucun doute sur l'exactitude des deux théories concernant la perturbation en longitude. »

Le Verrier s'était mis au travail au cours de l'été de 1845, sans connaître les recherches de son rival anglais, ni même le nom de ce rival. Fait singulier, il ne devait apprendre son existence que dans le mois qui suivit la découverte de Neptune. Airy, le seul astronome qui ait été tenu au courant des deux tentatives parallèles en vue d'expliquer les irrégularités du mouvement d'Uranus, ne fit part à aucun des deux chercheurs des résultats obtenus par l'autre.

Né à Saint-Lô, en 1811, Le Verrier était l'aîné d'Adams d'une dizaine d'années. Ce n'était ni un inconnu, ni un débutant. Depuis 9 ans il s'était rompu au calcul des perturbations. Il donnait déjà les marques de cette puissante personnalité qui devait entrer vivante dans la légende. Il avait du caractère, — on disait même, un mauvais caractère, — une volonté tenace, une puissance de travail rarement égalée, et par dessus tout, le goût inné des grands desseins, à la réalisation desquels il se donnait avec passion. Distant, autoritaire, olympien, il devait se faire, comme directeur de l'Observatoire de Paris, beaucoup d'ennemis, et aussi, beaucoup d'envieux. Les nombreux pamphlets qui furent écrits contre lui, et que j'ai lus à l'occasion de ce centenaire, font penser à toute cette basse littérature répandue sous l'Empire contre Napoléon : ce sont de petits personnages, des esprits mesquins, qui reprochent à grand homme authentique d'être ce qu'il est. Ces écrits ont pu nuire à la carrière de Le Verrier et causer sa destitution en 1870, ils ne font aucun tort à sa mémoire. A parcourir les misérables griefs accumulés contre lui, par des gens décidés à tout, on se persuade qu'on n'avait rien à lui reprocher, sinon sa supériorité.

Ses débuts avaient été éclatants. En quelques mois, ainsi qu'on devait le dire à ses funérailles, ce chimiste devenu astronome, s'était emparé hardiment de l'héritage vacant de Laplace ; il avait commencé ce qui devait être l'œuvre de toute sa vie : la révision des tables du Soleil et des planètes. A 35 ans, en janvier 1846, sa réputation lui valait, à l'Académie des Sciences, le fauteuil de Cassini IV. Il n'avait pas encore accumulé autour de lui ces haines qui devaient assombrir les années de sa maturité et lui arracher ce cri : « Si vous tenez à votre tranquillité, ne faites pas d'astronomie en France ! » Arago, son protecteur, lui avait conseillé d'abandonner momentanément ses travaux en cours pour s'occuper d'Uranus et de ses irrégularités. Aussitôt, Le Verrier se lance à l'assaut de ce problème comme on monte à l'assaut d'une forteresse. En novembre 1845, il a achevé la révision des tables de Bouvard, déterminé les valeurs définitives de leurs écarts avec l'observation, et démontré qu'aucun système d'éléments elliptiques ne peut représenter à la fois les observations anciennes et modernes.

Sept mois plus tard, en juin 1846, il présente à l'Académie des Sciences un second mémoire où se trouve posée la question suivante : « 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 ? »

Ainsi, Le Verrier avait fait, comme Adams et pour la même raison, une hypothèse *à priori* sur la distance de la planète supposée. Plus loin, il écrivait : « En assignant 325 degrés de longitude héliocentrique à la planète au 1^{er} janvier 1847, on ne commet pas une erreur de 10 degrés. » Et pour conclure : « Si le hasard a fait découvrir Uranus, on réussira bien à voir la planète dont je viens de faire connaître la position. »

Tant de confiance en soi-même devait en imposer à autrui et déterminer les astronomes à commencer des recherches autour de la position annoncée. Des tentatives furent faites, semble-t-il, à l'Observatoire de Paris, mais avec des moyens probablement insuffisants. Nous en ignorons le détail, leur échec seul ayant été mentionné dans les procès-verbaux du Bureau des Longitudes, à la date du 12 août 1846.

Mais en Angleterre, Airy, impressionné, comme on l'a vu, par la rigueur du travail de Le Verrier et par le remarquable accord de ses résultats avec ceux d'Adams, décida d'organiser des recherches dans la région intéressante, située aux confins du Capricorne et du Verseau, jusqu'à ce que la nouvelle planète révèle enfin son existence. Il chargea de ce soin le directeur de l'Observatoire de Cambridge, Challis : choix malheureux ! Comme maître et ami d'Adams, et comme astronome, Challis eût dû se mettre à la tâche avec enthousiasme. Il le fit à contre-cœur, et c'est seulement après la découverte de Neptune par Galle, sur les indications de Le Verrier, qu'il comprit son erreur.

L'Observatoire de Cambridge possédait l'équatorial Northumberland de 32 centimètres, mais il n'avait pas encore reçu la carte écliptique de Bremiker contenant les étoiles de la région à explorer. Challis décida donc de procéder à des sondages de cette région, en balayant chaque soir une zone de déclinaison, et en notant au passage toutes les étoiles avec leurs coordonnées. En répétant un peu plus tard l'observation de chacune de ces zones et en comparant les deux séries d'observations, on devait reconnaître la planète à son déplacement dans l'intervalle. Challis occupe ainsi ses soirées des 29 et 31 juillet, des 4 et 12 août. La chance le favorise, puisque Neptune figure dans les relevés des deux dernières soirées ; mais on ne le saura que plus tard, trop tard, car Challis ne réduit pas ses mesures. Il est trop occupé à réduire des observations de comètes qui lui paraissent d'un intérêt plus immédiat. Il se borne à vérifier la bonne qualité de ses sondages en comparant ceux du 31 juillet et du 12 août, qui se rapportent à la même zone. Il arrête ce rapide examen à l'étoile n° 39 : Neptune devait être identifié plus tard sous le n° 49 !

Le 31 août, Le Verrier lit à l'Académie son troisième mémoire. Il fournit les éléments de la planète troublante et sa masse, ainsi que les limites entre lesquelles il convient de circonscrire les recherches. Il fournit la valeur des nouveaux résidus d'Uranus, devenus acceptables. Enfin, il annonce que la planète possèdera un disque apparent de 3" de diamètre, ce qui permettra de la distinguer, à première vue, des étoiles voisines et abrègera considérablement les recherches.

Le Verrier n'a plus maintenant qu'une pensée, intéresser les astronomes-observateurs à la nouvelle planète, et les persuader de diriger leurs instruments vers la position annoncée. Il écrit à ses correspondants habituels. Le 18 septembre, notamment, ayant à remercier Galle, de Berlin, pour l'envoi d'une publication, Le Verrier en profite pour lui communiquer les conclusions de ses recherches. Le 23, la lettre est entre les mains de son destinataire qui, le soir même, commence ses observations. Suivant le conseil

de son jeune assistant, d'Arrest, Galle utilise la carte récemment gravée de l'Académie de Berlin, que Bremiker a dressée. Galle examine le ciel à la lunette, d'Arrest suit les observations sur la carte. Une étoile de 8^e grandeur, située à 52' de la position calculée manque sur la carte. Le 24, cette étoile s'est déplacée, c'est une planète, *la planète* !

Quelques jours après, le nom de Le Verrier était sur toutes les lèvres. Il souhaita intérieurement que ce nom fût donné à sa planète, et que l'on dît : la planète de Le Verrier, comme on disait : la comète de Halley. Arago, pressenti, accepta de se faire le parrain de cette désignation : il déclara solennellement devant l'Académie que, quant à lui, il n'en emploierait jamais d'autre ! Promesse imprudente ! Quelques mois plus tard, les deux hommes se traitaient en ennemis. Au surplus, la tradition mythologique devait l'emporter, et le nom de Neptune fut adopté, toutes les autres planètes étant dédiées à des divinités antiques.

Le Verrier fut cruellement déçu, mais il ne devait s'en prendre qu'à lui-même. N'avait-il pas annoncé à plusieurs astronomes étrangers — et par eux la nouvelle se répandit — que le Bureau des Longitudes avait choisi le nom de Neptune dès la fin de septembre 1846 ? Or, il n'en était rien, et l'on ne sait ce qui détermina Le Verrier à faire cette étrange déclaration.

Cependant, que faisait Challis à Cambridge ? La nouvelle de la découverte de Galle ne lui était pas encore parvenue à la fin de septembre, mais il avait lu le mémoire du 31 août, dont le ton de certitude confiante l'avait subjugué, comme il avait subjugué Airy de son propre aveu. Challis, encouragé dans ses recherches par cette lecture, restreignit considérablement le champ de ses investigations, que son peu de confiance dans la valeur des prédictions d'Adams lui avait fait étendre démesurément. Le 29 septembre, il examine encore 300 étoiles au voisinage de la position calculée, en s'attachant à reconnaître leur aspect physique, conformément aux recommandations de Le Verrier. Il note que l'une d'elles paraît avoir un disque. Et c'est seulement le surlendemain qu'il comprend, en recevant la nouvelle de la découverte, que la planète est passée trois fois dans le champ de la lunette et qu'il ne l'a pas reconnue ! Adams avait perdu la course par la faute de son second, malgré l'avance qu'il avait eue d'abord sur son rival inconnu. On raconte, à ce sujet, une curieuse anecdote. Le 30 septembre, le ciel était clair et Challis aurait pu vérifier son observation de la veille. Mais il recevait un ami. Au cours de la conversation, il fit allusion à la recherche qu'il poursuivait, et il mentionna l'existence probable d'une étoile présentant un disque. L'ami engagea Challis à profiter du beau temps pour contrôler cette remarquable observation. Mais Madame Challis se récria : « Le thé n'est pas servi ». Dans une famille anglaise, le thé est une cérémonie. Quand ses rites furent accomplis, le ciel était couvert. Le lendemain, il était trop tard pour faire encore une découverte indépendante, une lettre du continent ayant apporté la découverte de la planète.

Adams rapporte, dans une lettre à Airy, qu'il s'était proposé de rendre publics ses résultats en les communiquant à la *British Association* qui tenait séance à Southampton, en septembre 1846 ; mais il arriva un jour trop tard ! Quand Neptune fut découvert, sa prédiction était encore inédite, ce qu'Arago ne manqua pas de faire valoir pour lui dénier une part de mérite, si petite soit-elle.

L'éclat de la découverte de Neptune avait chatouillé l'amour propre des astronomes et des journalistes français, qui firent grand bruit autour d'elle. Mais en Angleterre, on reprocha véhémentement à Airy et à Challis l'occa-

sion manquée de renouveler, dans des conditions exceptionnellement honorables, l'exploit de William Herschel ajoutant une planète au système du monde. Le sentiment national britannique demanda des comptes. Tandis que Challis plaidait coupable — qu'eût-il pu dire pour sa défense ? — Airy, avec une noble franchise, exposa toute l'affaire dans ses moindres détails. Son mémoire émeut encore aujourd'hui le lecteur. On devine, à chaque ligne, un esprit que passionne la recherche scientifique, mais que les questions de personnes n'intéressent à aucun degré. Airy ne voit dans la découverte de Neptune qu'une source de joie et de satisfaction. La mécanique céleste triomphe, que faut-il de plus ? La querelle qu'on lui fait l'étonne et le chagrine visiblement.

La sincérité évidente de ses explications ne paraît pas l'avoir entièrement justifié aux yeux de ses compatriotes. Aujourd'hui encore, certains de nos collègues britanniques ne sont pas éloignés de croire qu'Airy était plus disposé qu'il ne l'avoue à mettre en doute la loi de Newton. L'hypothèse d'une planète troublante ne l'aurait emporté dans son esprit qu'en juin 1846, et ce revirement aurait été déterminé par l'accord remarquable des conclusions de Le Verrier avec celles d'Adams.

Quand on eut pris connaissance, à Paris, d'une lettre de Challis rendant brièvement compte des recherches d'Adams et des observations faites à Cambridge, ce fut une véritable explosion de fureur. Toute l'amertume laissée par les souvenirs de 1815, par l'affaire de Belgique et par la politique de Palmerston, remonta au cœur des Français. Arago, qui prenait volontiers à l'Académie l'attitude et le ton oratoire d'un tribun, tonna contre Challis, l'accusant de partialité et d'aveuglement, parlant même de correspondance à double face... Joseph Bertrand publia une note perfide sur quelques erreurs de calcul trouvées dans les œuvres du mathématicien anglais — lequel, soit dit en passant, devait, quelques années plus tard, se voir corriger également, et non sans malice, par ce même Adams qu'il avait si mal servi.

Aujourd'hui, ces passions éteintes, la France et l'Angleterre ayant renoncé à leurs haines séculaires, nous serions tentés de juger avec sévérité ces mouvements d'opinion dont la cause profonde est devenue pour nous lettre morte. Mais, dans l'atmosphère du temps, ils devaient apparaître aux contemporains comme des manifestations spontanées et légitimes du sentiment patriotique. Quoiqu'il en soit, c'est avec satisfaction que nous notons la réserve observée par Adams et par Le Verrier dans cette querelle de priorité, à laquelle ils eurent le bon goût de ne pas prendre part. Ils devaient se rencontrer l'année suivante en Angleterre, et nouer des liens de bonne et durable amitié.

Du reste, l'année 1846 était à peine écoulée qu'ils se voyaient attaqués tous les deux. Les premières observations de Neptune avaient fait soupçonner, en effet, que cette planète était sensiblement moins éloignée qu'ils ne l'avaient annoncé. Ce soupçon se changea en certitude quand on eut reconnu, dans l'Histoire Céleste, deux observations de Neptune faites en 1795 par le neveu de Lalande, qui avait pris la planète pour une étoile. Grâce à cette extension inattendue de l'arc observé, on posséda bientôt de bonnes valeurs des éléments de l'orbite. La masse de Neptune elle-même fut déterminée avec précision, Lassell lui ayant découvert un satellite. Or, toutes ces quantités s'écartaient à un tel point des valeurs prédites, qu'un astronome américain, Peirce, n'hésita pas à dénier à Adams et à Le Verrier une part quelconque dans la découverte de Galle, celle-ci devenant le fait d'un heureux hasard (fig. 3)!

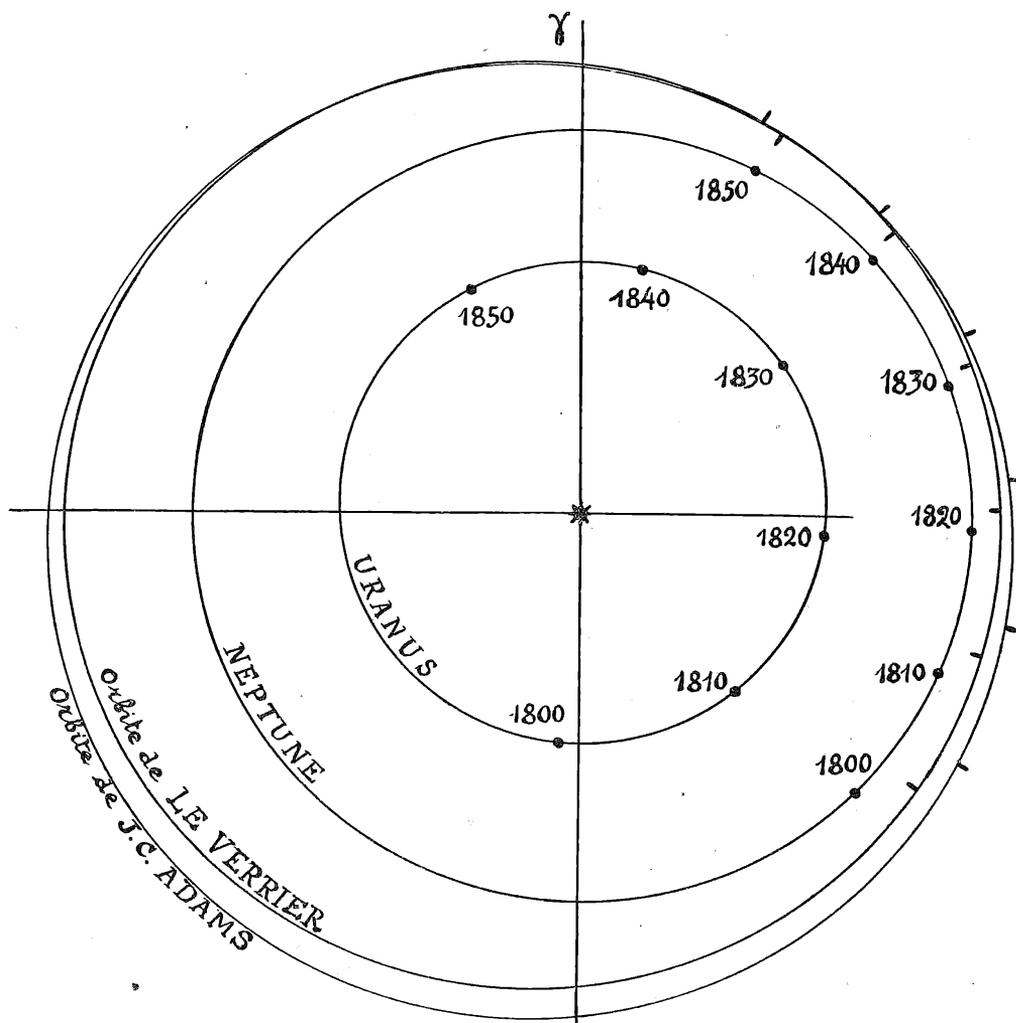


FIG. 3.— Orbits des planètes hypothétiques de Le Verrier et d'Adams, comparées à l'orbite réelle de Neptune. Noter la proximité des positions prédites et des positions réelles vers l'époque de la conjonction d'Uranus et de Neptune (1821).

Ce brillant paradoxe souleva de nombreuses protestations. Babinet, qui s'en était fait imprudemment l'avocat, s'attira une cinglante riposte de la part de Le Verrier. On peut la résumer en ces termes : « Je ne puis donner la position de Neptune d'après les perturbations d'Uranus que quand il y a des perturbations sensibles, c'est-à-dire dans les 15 ans qui précèdent et les 15 ans qui suivent la conjonction des deux planètes, survenue en 1821. Il s'agit de voir si mes éléments représentent correctement la situation relative des deux astres pendant cet intervalle. Etant parti d'une valeur trop élevée (38) du demi-grand axe, je l'ai réduite, au cours de mes calculs, de 2 unités. En outre, la théorie m'a fourni une forte excentricité, d'environ un dixième, et j'ai placé le périhélie au voisinage immédiat de la conjonction. Dans ces conditions, la distance calculée pour 1821 tombait à 32 au lieu de 30, valeur réelle. J'obtenais ainsi, pour la distance minimum de Neptune à Uranus, la valeur 13, en excès de 2 unités sur la valeur exacte. La force perturbatrice s'en trouvait diminuée, mais, par compensation, j'ai fait Neptune trop gros, rendant ainsi à la force perturbatrice l'intensité nécessaire pour produire les perturbations observées d'Uranus. »

A la vérité, Le Verrier et Adams avaient forcé la valeur hypothétique de la masse plus qu'il n'était nécessaire, Le Verrier, en la faisant double de celle de Neptune, Adams, en la prenant triple. C'est ce dont on peut s'assurer en examinant la figure 4, où sont figurés, par des vecteurs proportionnels, la force perturbatrice exercée sur Uranus, d'une part, par Neptune (traits pleins), d'autre part, par la planète de Le Verrier (traits interrompus).

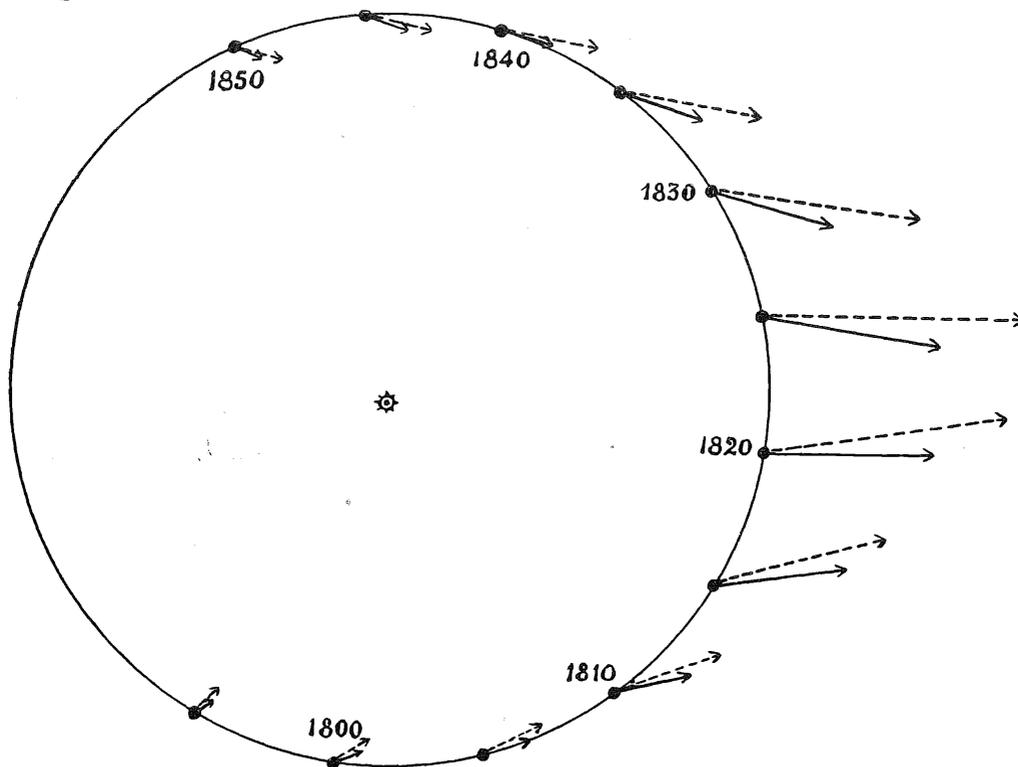


FIG. 4. — Comparaison de la force perturbatrice exercée sur Uranus à diverses époques, par Neptune (flèches en traits pleins) et par la planète hypothétique de Le Verrier (traits interrompus).

Les éléments prédits fournissent une valeur trop élevée de la force perturbatrice, et d'autre part, ils conduisent à retarder d'un an et demi la date de la conjonction. C'est ce que l'on constate à première vue sur ce diagramme. Mais il ne faut pas oublier que la détermination des masses planétaires par les perturbations est toujours moins précise que leur détermination à l'aide des satellites. On l'a constaté pour toutes les planètes connues, alors qu'on possédait leurs autres éléments avec toute la précision désirable. Qu'on juge par là des difficultés rencontrées dans le cas d'une planète inconnue, dont il fallait déterminer d'un seul coup tous les éléments ! Le Verrier n'avait certes pas tort d'écrire, dans ce style vigoureux dont il usait volontiers : « Qu'on me permette de le dire avec franchise. Lorsque j'annonçai mon principal résultat en 1846, je ne trouvai presque personne qui voulût y croire. Déduire la position d'une planète d'un petit dérangement qu'elle produit sur Uranus ! Quelle folie ! disait-on. Or, ce sont précisément ceux qui parlaient ainsi qui, aujourd'hui, trouvent tout à fait intolérable que j'aie réussi à donner la position de Neptune pendant 80 ans sans erreur de plus de sept degrés et demi aux extrémités de cette période, et qui pensent qu'on doit en faire un sévère exemple ! »

Certes, tout ce que Le Verrier articulait ainsi pour sa défense, en 1848, était pleinement justifié. Mais deux ans auparavant, il avait commis l'impru-

dence de fixer des limites aux éléments de la planète supposée. Ainsi, on peut lire, dans sa note du 31 août, que le demi-grand axe serait compris nécessairement entre les limites 35 et 38, alors qu'on trouva pour Neptune la valeur 30, et que la période serait de 207 à 233 ans, au lieu des 164 ans que l'on observe. Et ainsi de suite, pour les autres éléments. Il est clair que les résultats du calcul ne pouvaient avoir la précision que Le Verrier leur attribuait. Seule, la date de la conjonction d'Uranus et de la planète troublante pouvait être déduite assez exactement de la grandeur des perturbations, et sur ce point, l'erreur ne dépassait pas un an et demi. On pouvait, avec une hypothèse raisonnable sur la valeur du moyen mouvement, en déduire la longitude de la planète troublante à une époque peu éloignée de celle de la conjonction, et il n'en fallait pas davantage pour assurer la découverte optique du nouvel astre. Mais c'était pousser l'ambition un peu loin que d'assigner des limites aux éléments déduits de la théorie des perturbations. Si les adversaires de Le Verrier avaient eu quelque bon sens, et s'ils avaient mis moins de passion dans leurs attaques, voilà ce qu'ils lui eussent reproché. Ils furent bien mal inspirés lorsqu'ils dénièrent à Le Verrier et à Adams la moindre part de la découverte. Babinet, notamment, se couvrit de ridicule en ajoutant à Neptune une autre planète troublante qu'il nomma Hypériorion, et dont il calcula les éléments par une méthode ingénieusement absurde. Quelques mots de Le Verrier firent rentrer promptement Hypériorion dans le néant.

Mentionnons une critique subtile, mais spécieuse, adressée par Peirce aux méthodes de calcul adoptées par Adams et par Le Verrier pour la recherche du demi-grand axe. Comme on l'a vu, ces deux auteurs avaient adopté la valeur initiale 38, mais ils avaient repris les calculs en seconde approximation, en faisant varier progressivement la valeur de cet élément. C'est contre ce caractère de variabilité continue, ainsi conféré provisoirement au demi-grand axe, que s'élevait Peirce. N'oublions pas que la révolution sidérale et le moyen mouvement dépendent de cette grandeur et varient avec elle. Or, lorsque le moyen mouvement de la planète hypothétique passe par une valeur commensurable avec celle du moyen mouvement d'Uranus, certains termes du développement de la perturbation croissent au delà de toute limite. Il n'est donc pas légitime, disait Peirce, de traiter la perturbation comme une fonction continue du grand axe.

Le Verrier ne daigna pas réfuter ce sophisme; il suffisait, en effet, de lire son mémoire publié en appendice dans la *Connaissance des Temps* pour 1849, pour s'assurer qu'aucun des termes utilisés par lui ne tombait sous le coup des critiques de Peirce. Adams, de son côté, montra, beaucoup plus tard, qu'en tout état de cause, la perturbation, calculée entre deux dates voisines, ne subissait aucune discontinuité. En effet, la période des termes suspects croît en même temps que leur amplitude. Il n'est donc pas légitime de raisonner sur leur variation entre deux époques relativement rapprochées. On sait qu'en fait, les termes de ce genre se traduisent dans l'expression des éléments de l'orbite par des termes séculaires que Le Verrier et Adams avaient pu légitimement négliger. Il est, d'autre part, évident que la discontinuité invoquée par Peirce n'est pas essentielle. La force perturbatrice elle-même varie avec la distance de façon continue, il est donc nécessairement de même de la perturbation, calculée pour un intervalle relativement court.

La controverse Neptunienne s'apaisa enfin. Il ne subsista bientôt plus, dans les esprits, que le souvenir d'un des exploits scientifiques les plus

remarquables du siècle. Le Verrier et Adams poursuivirent leur carrière dans des voies différentes, le premier, en remettant sur le métier toute la théorie du système solaire où sa puissance de travail presque surhumaine trouvait un champ d'action à sa taille, le second, en résolvant les plus difficiles problèmes de la mécanique céleste, où la subtilité de son génie, son sens aigu des combinaisons analytiques élégantes, trouvaient naturellement leur emploi.

L'astronomie leur doit le plus brillant de ses succès. Ils n'ont pas peu contribué à asseoir, dans l'esprit humain, cette notion du déterminisme scientifique sur laquelle est édifiée toute la civilisation contemporaine. Si nous concevons, aujourd'hui, ce déterminisme tout autrement que ne le faisait Auguste Comte, si la notion même de loi scientifique a évolué, nous n'en restons pas moins persuadés du pouvoir des lois et des principes fondamentaux de la science, et nous savons les mettre à notre service. Si notre langage a changé, si nous ne parlons plus ni de l'éther, ni des actions à distance, si nous nous faisons de la loi de Newton une idée bien différente de celle qu'en avait Laplace, notre foi dans les résultats positifs acquis au cours des siècles précédents n'en est pas entamée. Les systèmes se succèdent, chacun d'eux ajoutant une assise aux anciennes fondations sans rien détruire d'essentiel.

En rendant hommage à la mémoire des grands hommes, nous ne faisons que reconnaître une dette sacrée; car c'est à ces puissants esprits, fils intellectuels de la Grèce nourricière qui sut marier harmonieusement le concret et l'abstrait, que nous devons le seul bien de ce monde qui ne soit pas trompeur, le pouvoir de la Science.

André DANJON.

Directeur de l'Observatoire de Paris.