

La découverte de Neptune

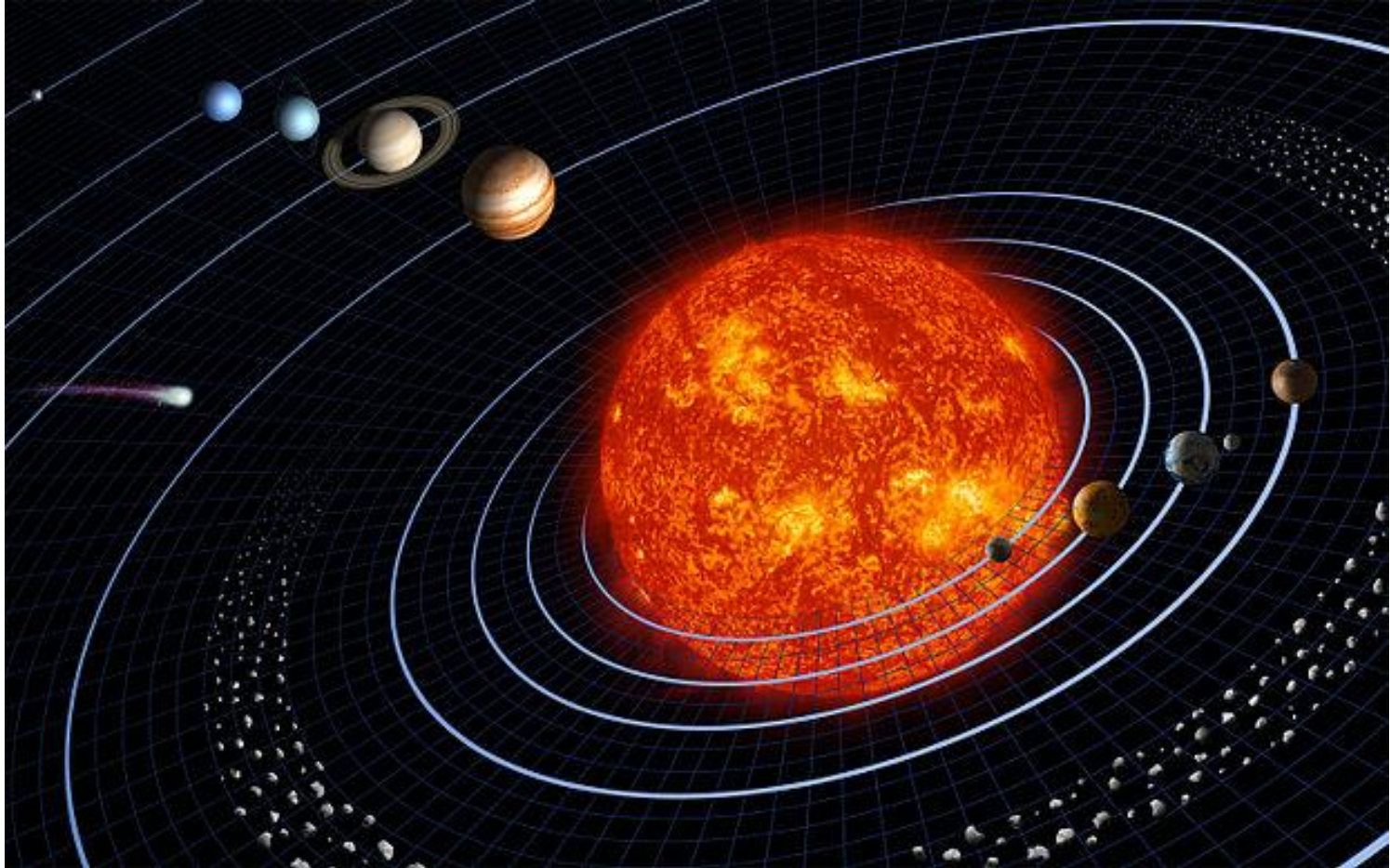
Jocelyne Erhel

INRIA Rennes - IRMAR

Les maths: enfermement ou liberté ?
LVN, Mai 2016

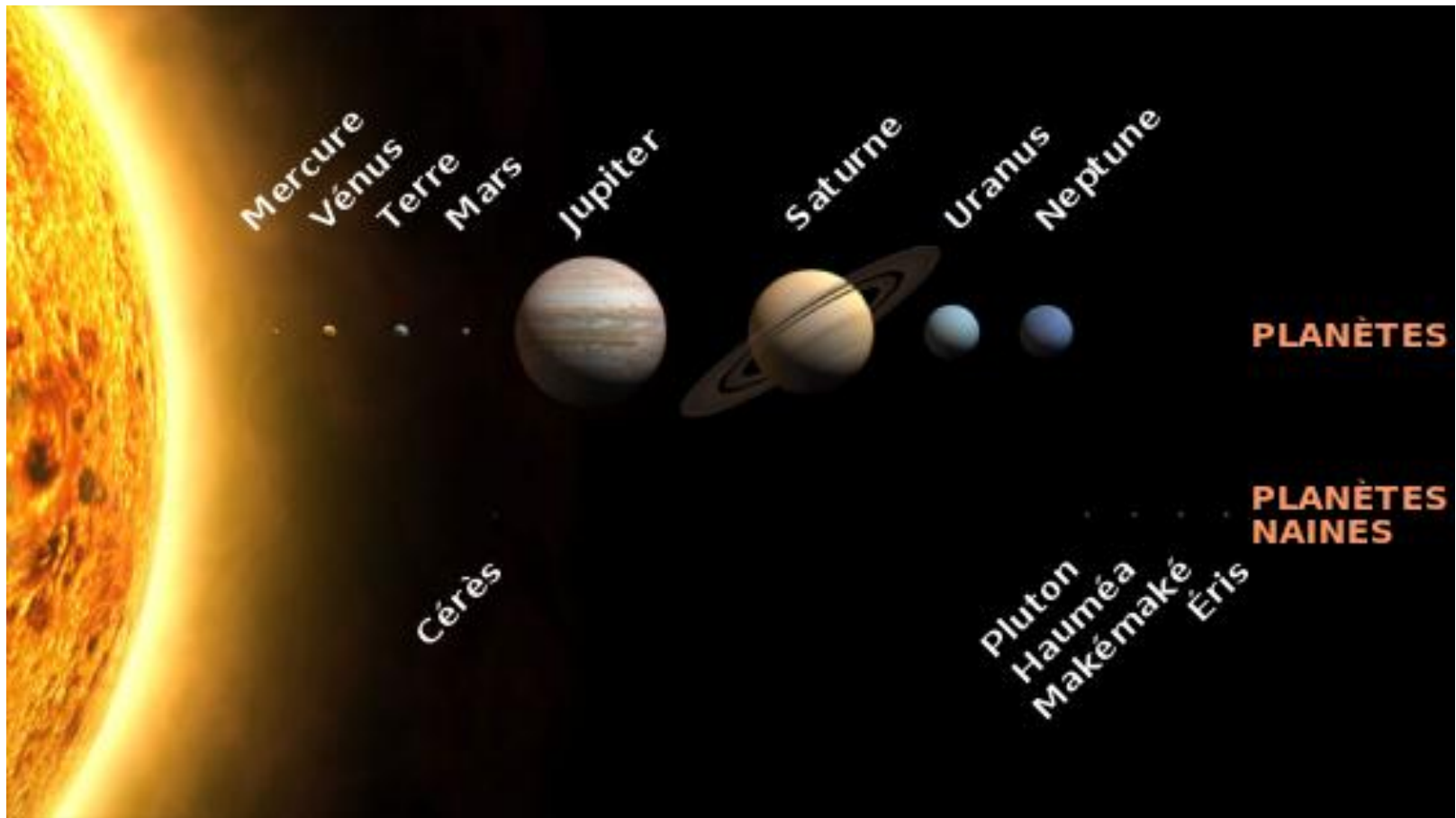


Le système solaire



Wikipedia





Wikipedia



L'observation des planètes

- A l'œil nu, on observait les cinq planètes proches de la terre (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne)
- Avec les lunettes astronomiques et les télescopes, on découvre les deux autres planètes.



<http://www.jimsugar.com/>



Découverte d'Uranus

William Herschel (1738-1822) construit un télescope et découvre la planète Uranus en mars 1781.



Wikipedia



Ephémérides d'Uranus

Alexis Bouvard (1767-1843) publie en 1821 des tables astronomiques de l'orbite d'Uranus.

Les observations d'Uranus dans le ciel ne correspondent pas aux prévisions !

Y aurait-il une « action étrangère ou inaperçue qui aurait agi sur la planète ? »



Le match France-Angleterre

A Cambridge, John Adams (1819-1892) prédit l'existence d'une planète perturbatrice et soumet ses calculs en septembre 1845 à George Airy et James Challis.

A Paris, François Arago (1786-1853) demande au cours de l'été 1845 à Urbain Le Verrier (1811-1877) de résoudre cette énigme.

Urbain Le Verrier refait tous les calculs de A. Bouvard et présente ses résultats le 1 juin 1846 à l'Académie. Il conclut aussi à l'existence d'une planète mystérieuse.



La planète mystérieuse

A Cambridge, J. Challis cherche la planète perturbatrice prédite par Adams dès l'été 1846.

A Paris, Urbain Le Verrier indique la position de la planète perturbatrice en août 1846. Il écrit à l'observatoire de Berlin le 18 septembre.

A Berlin, Johann Galle, avec Heinrich Louis d'Arrest, utilise les cartes stellaires de Bremiker et découvre la planète le 23 septembre.

« La planète, dont vous nous avez signalé la position, réellement existe. »



Cocorico !

Les scientifiques attribuent la découverte de la huitième planète à Le Verrier, Galle et d'Arrest.

Ils l'appellent **Neptune**.

Les anglais sont dépités, les français sont moqueurs.

Le Verrier et Adams communiquent cordialement entre eux, sans se mêler de la controverse.



L'incroyable efficacité des maths

Arago déclare avec emphase

« 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. »

Galilée aurait-il raison quand il écrit

« l'univers est écrit en langage mathématique » ?



Les maths et l'astronomie



La révolution copernicienne

Galilée (1564-1642) compare le système géocentrique de Ptolémée au système héliocentrique de Copernic, puis doit se rétracter face à l'Inquisition.



Wikipedia

Et pourtant elle tourne



Les trajectoires des planètes

Tycho Brahé (1546-1601) observe que Mars ne tourne pas rond. Il fait appel à Johannes Kepler (1571-1630).



Wikipedia

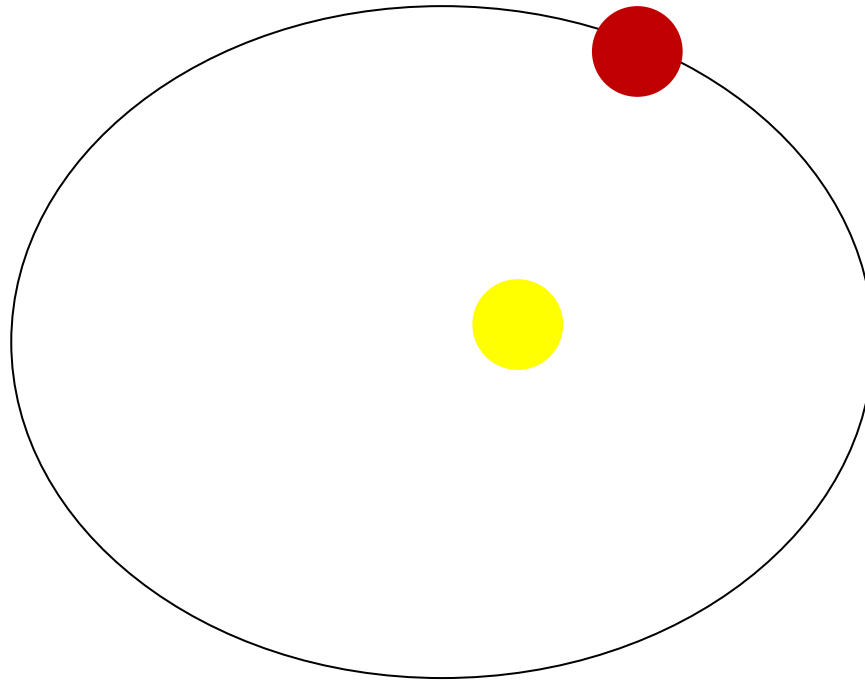


Les trois lois de Kepler

- La trajectoire d'une planète est une ellipse dont le soleil est un foyer.
- Le segment reliant le Soleil et la planète balaie des aires égales pendant des temps égaux
« Une chose est certaine : du Soleil émane une force qui saisit la planète. »
- Le carré de la période de rotation d'une planète (temps entre deux passages successifs devant une étoile lointaine) est proportionnel au cube du demi-grand axe de l'ellipse.



La trajectoire de Mars



La mécanique Newtonienne

Newton (1643-1727) explique les lois de Kepler grâce

au principe fondamental de la dynamique

masse x accélération = somme des forces ($ma = \sum F$)



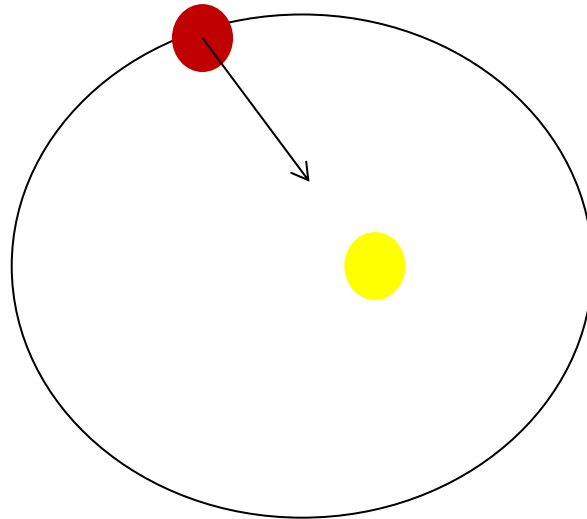
et à la loi de la
gravitation universelle

Gotlieb



La force de gravitation

Le Soleil exerce une force F sur la planète Mars



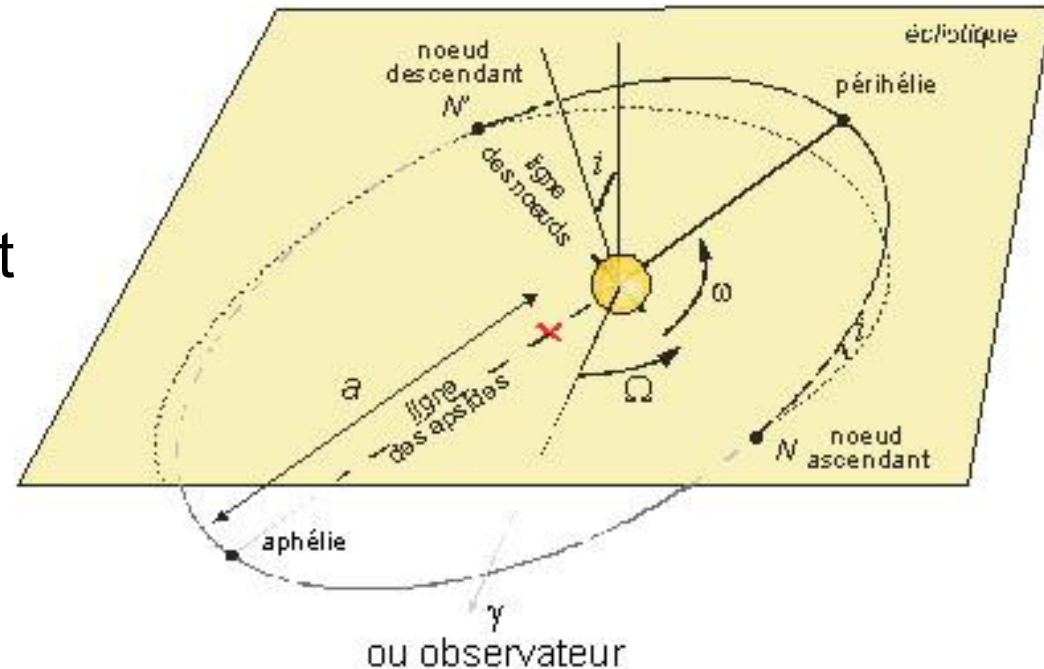
$$F = - G \times \text{masse du Soleil} \times \text{masse de Mars} / \text{distance}^2$$



Éléments orbitaux d'une planète

Six paramètres décrivent la trajectoire elliptique:

- Deux pour la forme de l'ellipse.
- L'inclinaison par rapport au plan écliptique.
- Les longitudes de deux points particuliers.
- La période sidérale.



Astrogebra



Ephémérides

Grâce aux éléments orbitaux et à l'équation de Kepler, on peut établir des éphémérides pour prévoir la position de la planète Mars dans le futur.

Les calculs pour Mars sont conformes aux observations.



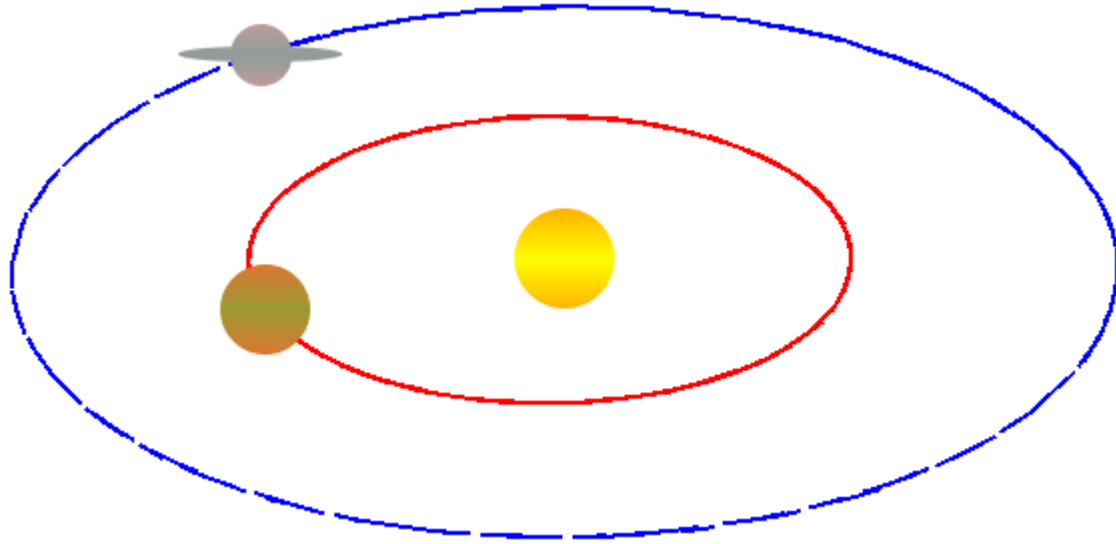
Perturbations planétaires

Non seulement le soleil, mais aussi toutes les planètes exercent une force de gravitation les unes sur les autres.

A. Bouvard utilise le traité de mécanique céleste de Pierre-Simon Laplace (1749-1829) et prend en compte les perturbations dues aux grosses planètes Saturne et Jupiter.



Jupiter et Saturne



Gilles Vilmart

Jupiter exerce une force de gravitation sur Saturne, qui exerce la même force sur Jupiter.

A. Bouvard calcule avec précision les éphémérides de Jupiter et de Saturne.



Uranus

Jupiter et Saturne exercent une force de gravitation sur Uranus.

Ces perturbations ne suffisent pas à expliquer les observations.

Une huitième planète ?

Adams et Le Verrier font l'hypothèse qu'une planète inconnue perturbe la trajectoire d'Uranus.

Le Verrier considère qu'il ne connaît ni les éléments orbitaux d'Uranus sans la perturbation de la planète inconnue, ni les éléments orbitaux de cette planète mystérieuse. Il ne connaît pas non plus sa masse.

Il doit donc trouver les valeurs de 13 inconnues.

Comment résoudre ce problème ?



Problème inverse

Si on connaît les valeurs des 13 inconnues, on peut calculer la position d'Uranus à différents instants, dans le passé comme dans le futur.

On peut donc comparer les positions calculées aux observations.

Le Verrier dispose de 369 observations compilées par les astronomes.

Il faut ajuster les valeurs des 13 inconnues pour réduire l'erreur entre calculs et observations.



Résolution du problème

Le Verrier synthétise le nombre d'observations à 24 et réduit le nombre d'inconnues à 8.

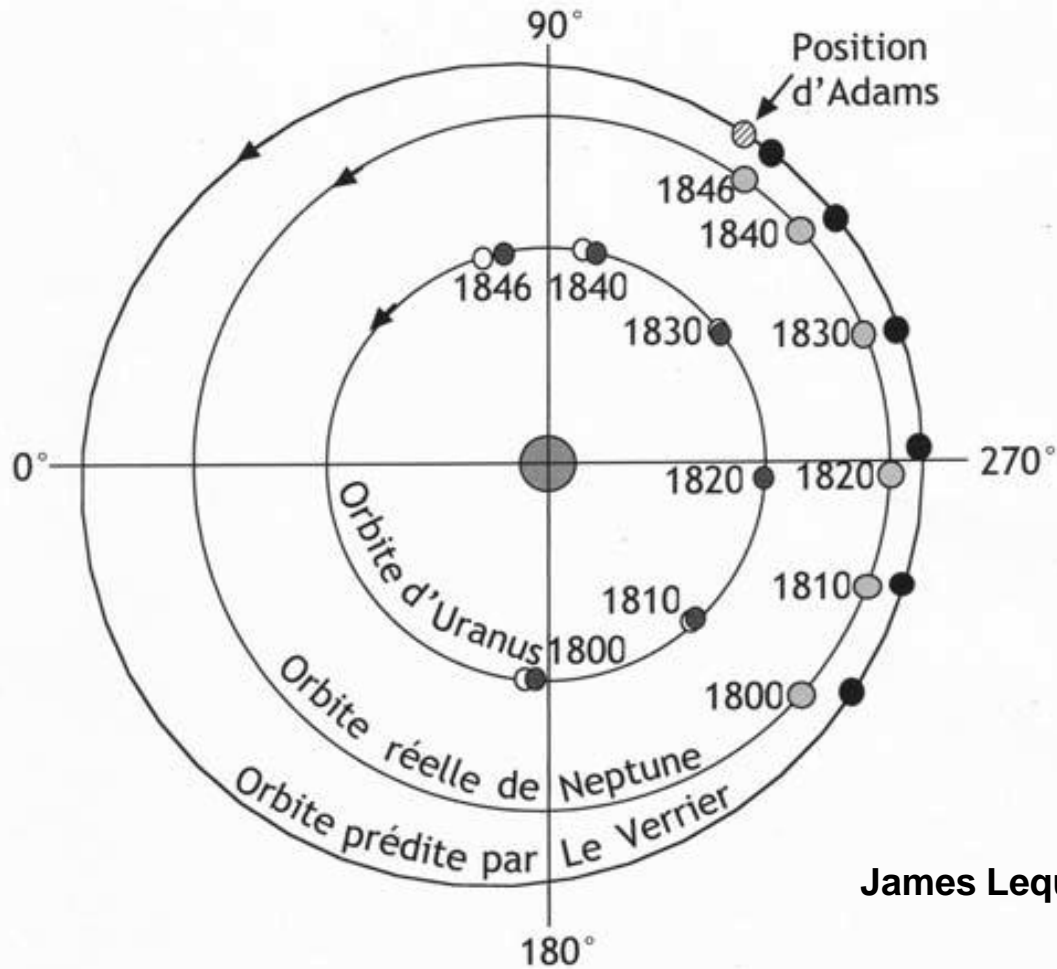
Il utilise la loi empirique de Titius-Bode pour estimer la distance du Soleil à Neptune.

Dès qu'il fixe la valeur d'une inconnue x , il sait calculer les 7 autres valeurs.

Puis il résout par approximations: il choisit 40 valeurs pour x , calcule les positions d'Uranus, compare aux observations et détermine ainsi la valeur de x qui minimise la différence.



Uranus et de Neptune

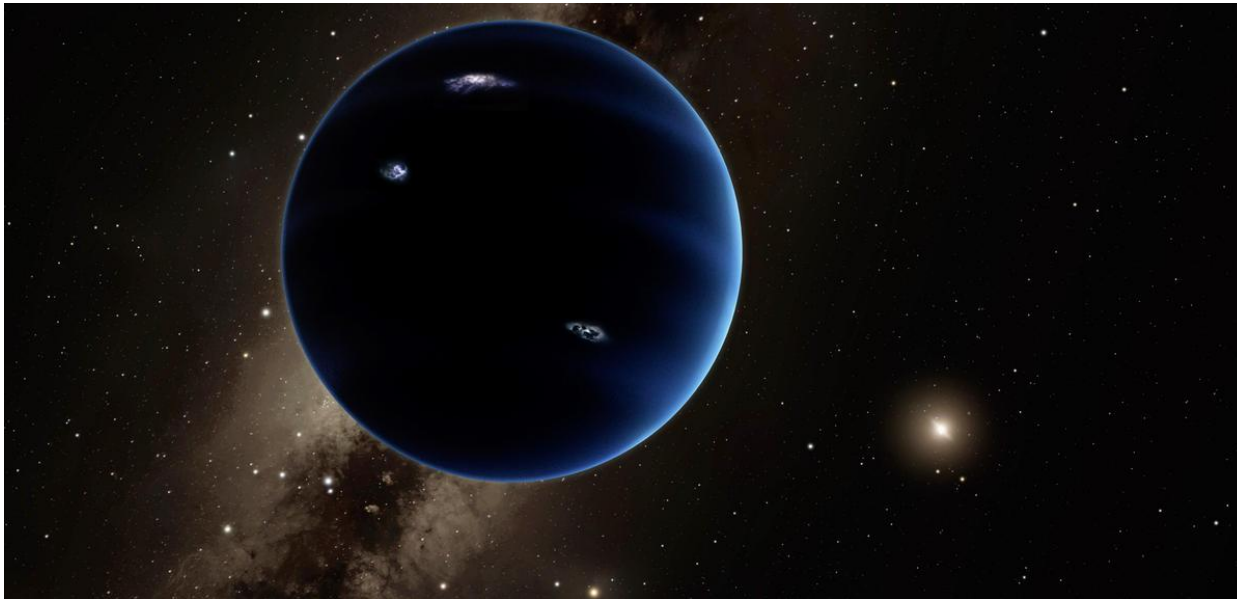


James Lequeux



Planète X

- Janvier 2016: annonce de la découverte d'une nouvelle planète dans la revue *The Astronomical Journal*.
- Février 2016: l'équipe de J. Laskar publie une éphéméride de cette planète, en résolvant un problème inverse.



Vue d'artiste

CNRS



Bibliographie

- Wikipedia
- La découverte de Neptune par Le Verrier (1846)
par James Lequeux (2010)
Astronome émérite à l'Observatoire de Paris
- Astro Géogébra - Rétrogradation de Mars
par Obs. Lyon (2010)
- Les merveilles de la science/La planète Neptune
par Louis Figuier (1870)
- Leçons de cosmographie, 6^e édition
par Tisserand et Andoyer (1912)

