

Rendez-vous avec Vénus

Amoureux du ciel, soyez prêts : vous avez rendez-vous avec la déesse de l'Amour. Le 8 juin 2004, et de nouveau le 6 juin 2012, se produira en effet un événement rarissime : le passage de la planète Vénus devant le Soleil. Seuls cinq de ces « transits » ont été observés par l'Humanité, et ils ont donné lieu à l'une des plus grandes batailles scientifiques de tous les temps... une histoire pleine de rebondissements que je vous invite à découvrir !

1. La planète aimée

Avec une taille similaire à celle de notre bonne vieille Terre (sa montagne la plus élevée, le Mont Maxwell, dépasse de peu l'Everest avec ses 11 km de hauteur), Vénus semble une planète-sœur, une amie céleste qui nous guide dans les cieux. Après le Soleil et la Lune, « l'étoile du berger » est en effet l'astre le plus brillant du ciel. Mais Vénus est pourtant pudique, car elle se cache sous le voile impénétrable d'épais nuages. Cette atmosphère dense scelle le sort de notre sœur, l'éloignant inexorablement du paradis tropical qu'elle aurait pu être et la transformant en un enfer sans nom : à la surface de la planète, on ne voit jamais le Soleil, l'air



Vénus et ses impénétrables voiles...



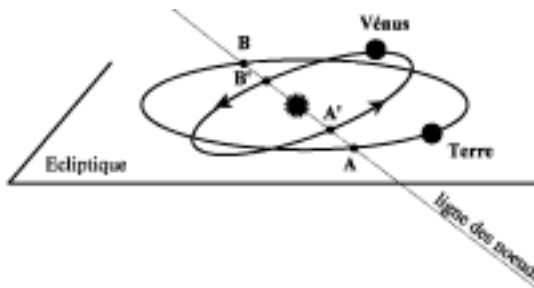
Un des rares engins qui a atterri sur Vénus : la sonde russe Venera 13.

est surchauffé à l'extrême (480° C), et la pression est énorme (elle atteint cent fois la pression atmosphérique terrestre, soit la pression qu'un sous-marin subirait à mille mètres de profondeur !). À 45 km d'altitude, il fait plus frais, mais les nuages sont tirillés par des vents dont la vitesse dépasse 300 km/h... et des gouttelettes d'acide sulfurique se baladent dans ces couches atmosphériques en perpétuel mouvement. Peu de missions terrestres ont réussi à vaincre cet enfer, et encore n'ont-elles fonctionné que quelques heures à peine ! Cependant, notre sœur explorée est une alliée précieuse de l'Astronomie, car elle nous a permis de réussir un exploit : la quête de la taille réelle du Système solaire.

2. Le Soleil a rendez-vous avec l'Amour

Cette réussite repose sur le phénomène naturel de « transit » – l'éclipse partielle du Soleil par un astre. Depuis la Terre, cela n'est possible que pour Mercure et Vénus, les deux seules planètes intérieures – c'est-à-dire plus proches du Soleil que notre planète. Évidemment, un transit ne se produira que si le Soleil, la planète et la Terre sont parfaitement alignées. Cela n'arrive pas souvent, car chaque planète tourne à son rythme autour du Soleil : il faut à Vénus 224,7 jours pour parcourir complètement son orbite, tandis que la Terre a

besoin de 365,3 jours pour ce faire. En tenant compte de ces différences, on montre que Vénus, la Terre et le Soleil se retrouvent dans la même configuration tous les 584 jours (environ 19 mois et demi) : c'est ce que l'on appelle la *période synodique*.



Les orbites de Vénus et de la Terre ne sont pas situées dans un même plan. Cependant deux points de l'orbite de Vénus, A' et B', appartiennent aussi au plan de l'orbite terrestre : ce sont les nœuds.

Cependant, il n'y a pas de transit tous les 584 jours, car Vénus et la Terre n'effectuent pas leur course céleste dans un même plan ! Comme les transits nécessitent un alignement pratiquement parfait du système Terre-Vénus-Soleil, ils ne peuvent se produire qu'en deux points précis de l'orbite vénusienne : les *nœuds*, intersections de l'orbite de Vénus avec le plan de l'orbite terrestre. Ces conditions extrêmement restrictives (il faut que Vénus soit en l'un de ces nœuds, et en même temps parfaitement alignée avec le Soleil et la Terre)

expliquent la rareté du phénomène. Les transits se produisent en fait en juin ou en décembre suivant un cycle¹ précis de 8 ans, 105 ans et demi, 8 ans, 121 ans et demi.

Vénus est très petite comparée à notre astre du jour : son diamètre angulaire lors des transits n'atteint qu'un trentième de celui du disque solaire ! On comprend mieux pourquoi ces transits ont été découverts... théoriquement² ! Bien que Ptolémée en ait mentionné la possibilité, c'est à Johannes Kepler qu'il faut remettre la couronne de lauriers. Dès 1607, Kepler pense déjà à la probable existence des transits. Il observe même une tache ronde sur le Soleil, et est sincèrement persuadé qu'il s'agit de Mercure en train de transiter – un peu à l'avance par rapport à ses prévisions. Il ne s'agissait en fait que d'une tache solaire, mais Kepler persiste dans son étude de ces éclipses particulières. En 1629, il prédit un transit de Mercure pour le 7 novembre 1631 et un transit de Vénus pour le 6 décembre de la même année. Il découvre également une période de récurrence d'environ 120 ans pour les transits vénusiens.



Johannes Kepler
(1571-1630).

¹ Supposons qu'il se produise un transit à l'instant t . Pour en avoir un autre, il faut qu'un nombre entier d'années vénusiennes correspondent à un nombre entier d'années terrestres. Par exemple, 13 années vénusiennes, soit 2921,1 jours, équivalent presque à 8 années terrestres, soit 2922 jours ; de même, 395 années vénusiennes (88756,9 jours) correspondent à 243 années terrestres (88757,2 jours). Mais il ne faut pas oublier qu'il y a deux nœuds, situés en des points opposés de l'orbite, à une demi-année d'intervalle. Il faut donc refaire le calcul en utilisant cette fois des nombres entiers plus une demi unité. On trouve alors que 184 années vénusiennes et demi (41457,3 jours) égalent 113 années terrestres et demi (41456,6 jours), et que 197 années vénusiennes et demi (44378,4 jours) correspondent à 121 années terrestres et demi (44378,6 jours). Ceci n'est qu'une approximation : dans la pratique, il faut tenir compte du fait que les orbites des planètes sont elliptiques, et que la ligne des nœuds se déplace avec le temps.

² Bien que certains prétendent que des anciens, les Assyriens, les Mayas, voire le grand Avicenne, auraient observé des taches solaires qui n'étaient autres que Vénus ou Mercure... une interprétation encore fort contestée.



Le transit de Mercure en mai 2003... On remarquera la petitesse du disque mercurien (en haut) par rapport à la tache solaire (en bas) : on comprend la méprise de Kepler (photo réalisée par X. Tercelin).

Kepler décédera malheureusement en 1630, avant d'avoir pu obtenir la confirmation expérimentale de ses calculs. Cependant, il avait pris ses précautions et exhorté les astronomes européens à entreprendre cette observation cruciale... en recommandant toutefois de commencer à scruter le Soleil quelques jours avant la date prédite – on ne sait jamais ! Cet appel sera particulièrement entendu par un astronome parisien, Pierre Gassendi. Trois autres européens ont aussi écouté les conseils de Kepler, mais ils n'ont fait aucune mesure scientifique du phénomène. Gassendi, lui, suit scrupuleusement les conseils de Kepler et installe un véritable observatoire : il construit une « camera obscura » (que vous pouvez reproduire en perçant un trou dans une boîte à chaussures) pour projeter le disque solaire sur un papier gradué, et il poste à l'étage supérieur un assistant chargé de lui donner l'heure quand l'astronome taperait du pied. Gassendi commence à observer deux jours à l'avance... mais des nuages l'empêchent de voir le Soleil. Le 7 novembre, les cieux sont un peu plus cléments, et les calculs de Kepler prouvent enfin leur justesse : Mercure est bien là, quoique avec un peu d'avance sur les prévisions. Le scientifique faillit d'ailleurs le manquer : il prit tout d'abord ce petit disque noir pour une tache solaire. À sa grande stupéfaction, il vit ensuite cette tache bouger, avec un mouvement par trop rapide pour une tache solaire : il ne pouvait s'agir que de Mercure, mais la planète était bien plus petite qu'on ne le pensait à l'époque – Gassendi estima sa taille à 20 secondes d'arc. L'astronome nota diligemment le trajet du dieu ailé sur le disque solaire, et il inscrivit l'heure de certaines observations – pas de toutes malheureusement, car aux dires de certains, l'assistant de Gassendi, découragé par les longues journées d'attente inutile et le ciel couvert, avait déserté son poste et avait dû être rappelé à l'ordre. Néanmoins, l'observation fut un succès, et Gassendi écrivit avec fierté : « ...le rusé Mercure voulait passer sans être aperçu, il était rentré plus tôt que l'on ne s'y attendait, mais il n'a pu s'échapper sans être découvert, je l'ai trouvé et je l'ai vu ; ce qui n'était arrivé à personne avant moi ».



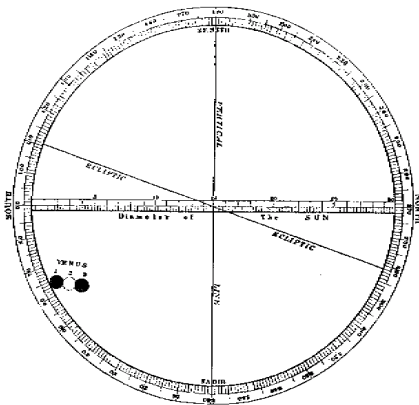
Pierre Gassendi (1592-1655).

Gassendi veut réitérer son succès mercurien un mois plus tard avec Vénus. Certains disent que le 6 décembre, pluie et vent empêchèrent toute observation. En tout cas, il est certain que Gassendi n'a rien vu, malgré plusieurs jours de scrutation intense du ciel. Et pour cause : Kepler avait fait une erreur de calcul, et le transit n'était en fait pas visible depuis l'Europe occidentale... Gassendi est désespéré car il sait que le transit suivant ne se produira qu'en 1761...

Mais il ne fallut pas attendre aussi longtemps que Gassendi le pensait – et ce dernier aurait aussi pu voir Vénus voguer sur le disque solaire –, ainsi que le comprit un jeune anglais du nom de Jeremiah Horrocks. Cet étudiant précoce avait appris l’astronomie seul, en autodidacte, et s’était pris de passion pour cette science millénaire. En corrigeant des tables astronomiques imprécises, il découvre par hasard la possibilité d’un autre transit. Selon ses calculs, Vénus devrait transiter un mois (!) plus tard, le dimanche 24 novembre 1639, à trois heures de l’après-midi (en fait il faudrait écrire le dimanche 4 décembre, mais le Royaume-Uni utilisait encore le calendrier julien à l’époque). Ébahi par sa découverte, mais pas certain de pouvoir observer le phénomène sous les cieux peu cléments de l’Angleterre, il prévient son frère Jonas ainsi qu’un de ses amis, le marchand de textiles et astronome amateur William Crabtree.



Jeremiah Horrocks observant le transit de Vénus en 1639.



Carte établie par Horrocks : on y voit la position de Vénus sur le disque solaire à trois instants déterminés.

Prudent, Horrocks ne veut manquer ce rendez-vous inopiné avec Vénus sous aucun prétexte : dès le 23, il observe avec constance, mais il ne voit rien. Le jour dit, le ciel est assez couvert, mais finit par se dégager à l’heure prévue pour le transit. Savourant son triomphe, Horrocks devient le premier homme à assister à un transit de Vénus. Il en profite pour estimer la taille de la planète (1’ 16”), et note même sa position sur le disque solaire à 15 h 15, 15 h 35 et 15 h 45, juste avant le coucher du Soleil. Malheureusement, il ne put observer continûment le phénomène : il fut retenu par d’« importantes affaires », probablement des obligations religieuses³, avec lesquelles des « futilités » astronomiques ne pouvaient rivaliser. Son ami Crabtree, lui, eut quelque mal à observer le transit : de nombreux nuages lui gâchèrent la vue... mais finirent par s’entrouvrir un moment. Le spectacle céleste qu’il découvrit alors le frappa de stupeur ; le brave marchand ne reprit ses esprits que lorsqu’il était presque trop tard pour effectuer des mesures ! Jonas Horrocks, lui, ne put rien voir du tout : seules deux personnes observèrent donc la danse de Vénus devant le Soleil en l’an de grâce 1639... Horrocks ne put malheureusement profiter longtemps de

Remis de ses émotions, Crabtree observe le transit de 1639.



Remis de ses émotions, Crabtree observe le transit de 1639.

³ Ce qui a fait dire à certains qu’il était pasteur, une chose pourtant impossible en raison de son jeune âge.

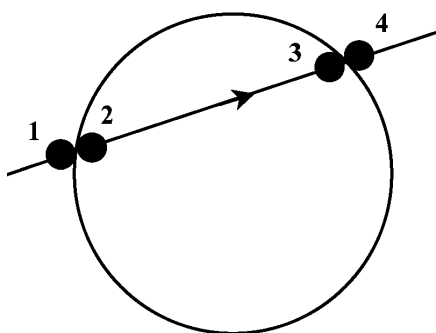
son extraordinaire découverte : il mourut peu après, en 1641, à l'âge de 22 ans. L'ampleur de son travail (découverte de l'ellipticité de l'orbite lunaire, étude des marées, transit de Vénus, etc.) laissait présager une carrière pleine de promesses ; c'est pourquoi il est très apprécié en Angleterre, où il est considéré comme le fondateur de l'astronomie moderne.

Si Horrocks utilisa le transit de Vénus pour déterminer la distance Terre-Soleil de manière assez fantaisiste (*cf.* annexe), ses successeurs – James Gregory en 1663, suivi d'Edmund Halley en 1677 – y pensèrent plus sérieusement. Cette année-là, le célèbre astronome était à Sainte Hélène où il établissait un catalogue de 340 étoiles de l'hémisphère austral ; et le 7 novembre 1677, il y observa un transit de Mercure. Malgré une météo peu clémente, il chronométra le temps de passage du dieu ailé sur la face solaire. Ses réflexions l'amènent à conclure qu'un observateur se trouvant ailleurs sur Terre aurait vu Mercure à un endroit différent sur le disque solaire. Cette différence de position, argumente-t-il, pourrait permettre d'estimer la distance Terre-Soleil. En peu de



Edmund Halley (1656-1742).

temps, Halley met alors au point une méthode pratique (*cf.* annexe), et il publie en 1716, à l'âge de 60 ans, un manifeste dans lequel il exhorte ses successeurs à tenter l'aventure lors du prochain transit de Vénus prévu pour 1761 – trop tard pour lui, estima-t-il avec raison (il mourut en 1742, un verre de vin à la main...).



Il y a quatre points de contact. Le premier contact se produit lorsque le disque de Vénus touche le disque solaire pour la première fois, le deuxième lorsqu'il est complètement à l'intérieur pour la première fois, le troisième lorsqu'il est complètement à l'intérieur pour la dernière fois et le quatrième lorsqu'il touche le disque solaire pour la dernière fois.

Halley avait exclu les transits de Mercure pour cette mesure : cette planète se trouve trop près du Soleil pour présenter des différences de position notables. Mais ce rejet ne fut pas unanime : les transits de Mercure étaient plus fréquents et son orbite était mieux connue que celle de Vénus ; la communauté astronomique se mobilisa donc en 1723, 1746 et 1753... pour un résultat nul. Guillaume Le Gentil conclut de ces malheureuses expériences qu'Halley avait raison : il faut exclure Mercure, dont le déplacement rapide empêche toute détermination précise des instants de contact (voir le dessin ci-contre).

3. Le Siècle des Lumières piste Vénus aux quatre coins du monde

Il ne restait donc que Vénus, et les dates de ses prochains transits s'approchaient à grands pas. Joseph Nicolas Delisle décida de prendre les choses en main. Il avait observé les transits de Mercure, et connaissait les difficultés de ce genre d'observation. Il en avait même parlé avec Halley en 1724. Ce dernier, impressionné par le jeune homme, lui remit des tables non encore publiées pour l'aider dans sa tâche (Newton aussi rencontra Delisle, et fut lui aussi

troublé par l'intelligence aiguë du Français... il lui laissa également un modeste présent : un portrait de son humble personne !).



Mappemonde pour le passage de Vénus de 1761
La mappemonde de Delisle.

Delisle corrigea tout d'abord la liste des meilleurs sites pour observer le transit – Halley avait commis une petite erreur de calcul –, et il publia finalement une « mappemonde » qui montre où se positionner sur Terre pour assister au spectacle dans les meilleures conditions. Il diffusa largement cette mappemonde, et tenta de mobiliser le monde entier : il écrivit à plus d'une centaine de correspondants ! Dès 1752, Delisle entreprend une « campagne publicitaire » intense. Il propose même une variante de la méthode de Halley : au lieu de noter les instants précis des deux contacts internes, il peut, grâce à sa nouvelle méthode, se contenter de relever un seul des temps de contact.

Mais si elle a l'avantage d'augmenter le nombre d'endroits utilisables pour l'observation, cette méthode repose sur une bonne connaissance des coordonnées géographiques... or la longitude est encore mal déterminée à l'époque.

Hélas, 1761 n'est pas une année faste : l'Europe est alors dans la tourmente de la guerre de Sept Ans (1756-1763) qui fait rage entre les Anglais, aidés des Prussiens, et les Français, assistés des Autrichiens. Malgré ce contexte peu avenant, les « frères ennemis » franco-anglais mettent sur pied de gigantesques expéditions... pour la Science.

3.1. Ne dit-on pas que les Français sont les meilleurs amants ?

Delisle organise l'effort français. Ainsi César-François Cassini de Thury part à Vienne, où il observe le transit depuis l'observatoire jésuite en compagnie de l'archiduc Joseph. L'astronome Joseph-Jérôme Lalande reste prudemment à Paris... et au vu des (més)aventures de ses trois amis, Pingré, Chappe et Le Gentil, on ne peut lui donner tort.

- ***Pingré***

L'abbé Alexandre-Gui Pingré est astronome, mais aussi auteur prolifique (il racontera avec force détails son voyage à la gloire de la Science), latiniste émérite et poète à ses heures ! Il fut tout d'abord question de l'envoyer en Sibérie (mais c'est finalement Chappe qui partira là-bas). On pense ensuite l'envoyer sur la côte sud-ouest de l'Afrique, après un voyage en compagnie des Portugais. Mais ceux-ci rallient l'Afrique via le Brésil, et en cette fin de l'an 1760, il est déjà trop tard pour emprunter cette route. Alors, pourquoi ne pas partir avec les Hollandais ? On ne sait pas ce que donnèrent les négociations avec ces derniers ; toujours est-il que l'Académie des sciences décida finalement de dépêcher l'abbé sur l'île Rodrigue (aujourd'hui Rodrigues), dans l'océan Indien – une destination moins risquée, car possession française facilement accessible, située sur la route de la Compagnie Française des Indes.

Avant son départ, l'Académie obtient même pour Pingré un laissez-passer signé de l'Amirauté britannique – un exploit en ces temps troublés ! Le brave Pingré quitta donc Paris le 17 novembre 1760, après un plantureux repas d'adieu – l'abbé était bon vivant. Il lui fallut treize jours pour rallier la côte, et il ne manqua pas de décrire les qualités comparées du pain et du vin absorbés dans chacune des auberges rencontrées lors du voyage. Arrivé au port, il dut débattre fermement avec le capitaine de son vaisseau, le *Comte d'Argenson*, à propos de la quantité de bagages qu'il voulait emporter. « *Sept cents à huit cents livres, ce n'est pas de trop pour un astronome* », explosa-t-il ! Finalement, ils parvinrent à un accord, et le 9 janvier 1761 Pingré partit enfin, en compagnie de Denis Thuillier, mandaté par Buffon pour collecter faune et flore pendant le voyage. Le lendemain de l'embarquement, le *Comte d'Argenson* croisait cinq navires ennemis ; il parvint néanmoins à s'échapper, à la faveur de la nuit, et grâce aux manœuvres habiles de son capitaine.



Alexandre-Gui Pingré
(1711-1796).

La suite du trajet est plutôt calme... horriblement calme. Mort d'ennui, Pingré entame un concours de détermination de longitude avec les officiers du bord : il prétend que le navire passera à l'Est des îles du Cap Vert, tandis que les seconds penchent pour l'Ouest... Le capitaine, prudent et croyant aux vertus de la moyenne, redouble de vigilance pour ne pas s'échouer malencontreusement sur ces îles. Un matin, ils aperçoivent enfin l'une d'entre elles. C'est la consternation : d'après la carte, ils devraient se trouver en plein milieu d'une autre île... ce qui révèle bien de la qualité défailante des cartes maritimes de l'époque.

De temps à autre, le voyage est entrecoupé de menus événements : le passage de l'équateur (l'occasion d'attacher des messages du style « *Cocu soit le premier qui me prendra* » aux pattes des oiseaux), et le franchissement du Cap de Bonne Espérance (celle d'un respectueux *Te Deum*). À part cela, il n'y a pas grand chose à faire pendant ce long trajet, et Pingré laisse transparaître dans ses écrits l'occupation principale à bord : la boisson. N'écrit-il pas « *Des liqueurs nous donnent la force nécessaire pour prendre une distance de la Lune au Soleil* » ?

Cependant, les choses se gâtent peu après le passage du Cap. Les voyageurs repèrent des navires ennemis à l'horizon, et le 8 avril 1761, ils rencontrent un navire français gravement endommagé, dont le capitaine requiert assistance et demande de l'accompagner jusqu'à l'île de France (aujourd'hui l'île Maurice). Si Pingré est d'accord au départ pour aider ses compatriotes, il finit par trouver le temps long : si cette expédition de secours ne se termine pas rapidement, il va manquer le rendez-vous céleste ! Il se fâche donc et proteste vigoureusement, par voie écrite et par voie orale, auprès des deux capitaines. Un peu de vin blanc du Cap aide finalement à trouver un compromis : un autre bateau transportera Pingré de l'île de France à l'île Rodrigue. Le 6 mai, ils atteignent enfin l'île de France, et il ne s'écoule

que trois jours pour qu'ils embarquent à nouveau. Mais la mer est mauvaise, et 19 jours sont nécessaires pour atteindre l'île Rodrigue, pourtant si proche.

Le 28 mai, ils mouillent enfin à Rodrigue près d'un autre bateau français, le *Volant*, envoyé de l'île de France pour prendre une cargaison de tortues – un mets raffiné pour le palais des expatriés. Il ne reste que neuf jours à Pingré pour préparer son observation, c'est peu car l'île n'est pas accueillante, et les instruments sont en plutôt mauvais état après ces longs mois passés en mer. Le 3 juin néanmoins, tout est prêt, et le temps splendide... se gâte le 6 au matin. Il pleut pour le transit ! Pingré passe par un moment de désespoir, mais la pluie s'arrête et le ciel s'éclaircit. Pingré peut alors mesurer la distance entre Vénus et le bord du Soleil à diverses reprises. L'astronome et ses compagnons fêteront d'ailleurs leur (quasi) succès le soir même. Pingré décide toutefois de rester sur place quelque temps, pour déterminer plus précisément la latitude et la longitude de l'île.

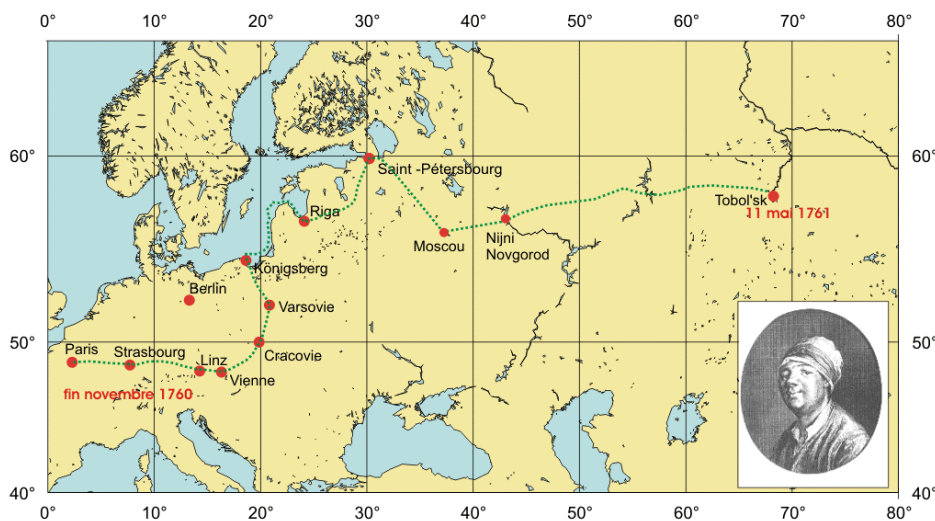
Mal lui en prit ! Le 26 juin arrive une corvette française, dont le capitaine doit épouser la fille du gouverneur de l'île. Il est suivi trois jours plus tard par un navire anglais, dont les matelots sont armés jusqu'aux dents. Ceux-ci débarquent, capturent les Français, et mettent l'île à sac. Ils brûlent le bateau du marié et prennent celui de Pingré comme butin. Le bouillant astronome a beau protester, brandissant son laissez-passer britannique, rien n'y fait. Les Anglais laissent l'île dans un état lamentable, plus désolée encore qu'à l'ordinaire, avec l'astronome et son équipe. Pendant plus de deux mois, ceux-ci seront captifs de l'île, sans grand-chose à se mettre sous la dent. Plus grave, ils sont « réduits à la seule boisson ignoble de l'eau », le pire des outrages, comme le racontera par la suite Pingré lui-même. Leur attente connaît un répit avec l'arrivée de deux navires anglais ; Pingré se plaint avec véhémence du comportement de leur collègue auprès des capitaines, qui achemineront les lettres de protestation du Français, et lui laisseront quelques provisions.

Le martyre prend fin le 6 septembre 1761, le jour où réapparaît le navire français *Le Volant* chargé de faire de nouveau le plein de tortues ; et le 12 septembre, Pingré retrouve son collègue Le Gentil à l'île de France. Il en repart environ un mois plus tard, et entreprend une étude de l'île Bourbon (l'actuelle île de La Réunion) pendant deux mois supplémentaires. Enfin, son travail achevé, Pingré tente de regagner la France. Mais le 11 février 1762, un navire anglais les arraisonne ; Pingré et ses compagnons sont de nouveau faits prisonniers. Cette fois, le laissez-passer britannique assurera néanmoins à l'astronome un traitement de faveur. Pingré se lie d'amitié avec le médecin de bord anglais, avec qui il partagera le réconfort d'un certain désinfectant médical... Arrivé à Lisbonne le 23 février, Pingré voit sa « collection naturelle » (plantes et animaux destinés à Buffon) pillée par les Anglais. Il parvient de justesse à sauver ses instruments astronomiques. Dégoûté de la mer, il continue son voyage par voie de Terre et rentre en France « un an, trois mois, dix-huit jours, dix-neuf heures et cinquante-trois minutes » après l'avoir quittée.

- *Chappe*

L'abbé Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche, qui avait participé à la correction des tables de Halley avec Delisle, se voit assigner un nouvel objectif : observer le transit de Vénus depuis Tobolsk, en Sibérie. Son voyage doit l'emmener tout d'abord à Saint-Pétersbourg, mais il rate le départ du bateau hollandais qui devait l'y conduire – somme toute une bonne chose car le navire en question s'échouera peu après sur les côtes de Suède. Fin novembre 1760, pratiquement au même moment que Pingré, il quitte Paris pour Strasbourg, première étape de son voyage. Si cela nous semble aujourd'hui une promenade de routine, ce n'était pas du tout le cas à l'époque. En calèche, sous la pluie diluvienne et sur les routes défoncées du Royaume de France, Chappe mettra huit jours pour effectuer le voyage. À l'arrivée, tous ses thermomètres et tous ses baromètres sont cassés ! L'évêque de Strasbourg fait heureusement remplacer tout le matériel, et demande même à son meilleur horloger de réparer les montres déréglées de Chappe.

Échaudé par ces débuts catastrophiques, Chappe renonce à rejoindre Saint-Pétersbourg par la route. Il se rend à Ulm, où il embarque sur le Danube. Ce moyen de transport, lent mais plus sûr pour les instruments, permet à l'abbé d'entreprendre une étude détaillée du fleuve : il établit des cartes précises des abords du Danube, et il profite des jours d'arrêt pour escalader les montagnes avoisinantes et en mesurer la hauteur à l'aide d'un baromètre. Il arrive ainsi le 31 décembre à Vienne, qu'il quitte huit jours plus tard pour rejoindre Saint-Pétersbourg en passant par Cracovie et Varsovie. Le voyage se passe sans grand incident : à la joie de l'astronome, les montures sont remplacées le 7 février par des traîneaux, moyen de transport rapide et sûr. Chappe arrive à Saint-Pétersbourg à la mi-février. Il y est reçu comme un prince, mais il apprend que l'Académie Impériale, qui craignait qu'il n'arrive pas à temps, a déjà envoyé ses propres émissaires, mais pas aux confins de la Sibérie. Malgré les pressions, Chappe maintient sa destination initiale ; accompagné d'un horloger, il quitte Saint-Pétersbourg le 10 mars 1761 avec tous ses instruments, à bord de quatre traîneaux tirés



Chappe et son voyage vers Tobolsk en 1761.

chacun par cinq chevaux. Cet équipage se déplace le plus vite possible : il faut en effet battre de vitesse le dégel qui pourrait leur barrer les routes. En quatre jours seulement, ils sont à Moscou, où ils changent de traîneaux. Ils repartent le 17 mars et arrivent à Tobolsk moins d'un mois plus tard.

Dès son arrivée, Chappe entame la construction d'un observatoire, qui sera achevée le 11 mai 1761. Le 18 mai, il observe une éclipse de Lune et le 3 juin, une éclipse de Soleil : grâce à celles-ci, il peut déterminer avec précision la longitude⁴ de son observatoire. Mais il travaille le jour et une partie de la nuit, scrutant le ciel sans relâche : lorsque le dégel provoque la crue du cours d'eau local, causant la désolation en ville, c'est vers lui que se tournent les regards soupçonneux, lui, l'étranger qui interfère avec la bonne marche céleste. Pour éviter l'émeute, ou pire, le meurtre de l'astronome, la garde est doublée... Chappe continue donc ses travaux dans un climat relativement calme, mais peu amical.

Le jour du transit, le 6 juin, sous un ciel radieux, il installe un deuxième télescope à côté du sien, pour que les notables de Tobolsk puissent observer eux aussi le phénomène : une récompense pour leur aide, mais aussi un gage de tranquillité, puisqu'ils le laisseront ainsi observer en toute quiétude. Chappe envoie ses résultats dès le lendemain à l'Académie, mais il reste encore trois mois sur place : non seulement pour mieux connaître encore ses coordonnées géographiques, mais aussi pour étudier la géologie, la météorologie et les coutumes de l'endroit. À son retour, il décrira l'esclavage et l'arriération de la société russe dans un pamphlet qui fera l'effet d'une bombe en Europe.

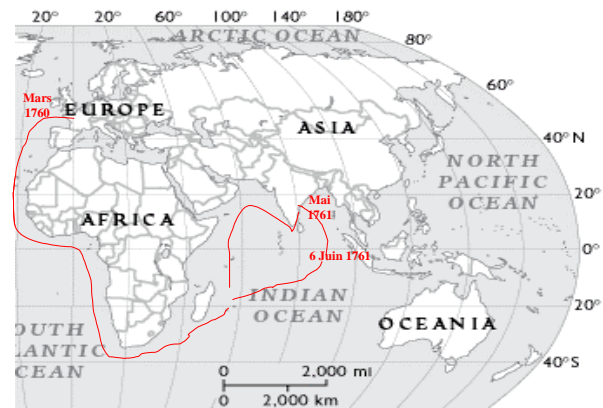
• *Le Gentil*

Mais le plus malheureux des trois compères, et même le plus malheureux de tous les astronomes du XVIII^e siècle, s'appelle Guillaume Joseph Hyacinthe Jean Baptiste Le Gentil de la Galaisière : lui n'est pas abbé, même s'il a failli entrer dans les ordres. Il quitte la France tôt, le 26 mars 1760, car il s'est porté volontaire pour partir très loin, à Pondichéry en Inde ! Sûr de son fait, il déclare avant de partir qu'il n'y a que la France qui mette sur pied « *les plus grandes entreprises qui concourent si fort au progrès des Sciences les plus utiles, l'Astronomie, la Géographie, et la Navigation* ».

La première partie de son voyage se déroule sous les meilleurs auspices ; tout au plus a-t-on à déplorer un suicide à bord et une courte poursuite par l'ennemi britannique. Le 10 juillet 1760, Le Gentil arrive sans encombre à l'île de France. Hélas, il apprend là-bas que Pondichéry est assiégé par les Anglais, que les comptoirs voisins sont déjà aux mains de l'ennemi – et que la France ne semble guère pressée de les libérer. Quelques mois plus tard, une flotte française se prépare enfin en île de France pour aller porter secours aux assiégés... mais elle subit des dommages irréparables lors de la tempête qui ravage l'île le 27 janvier 1761. Le Gentil doit prendre son mal en patience. Il songe à rejoindre Batavia (aujourd'hui

⁴ Pour connaître la longitude d'un lieu, il suffit de mesurer l'instant d'un événement bien connu (éclipse de Lune, de Soleil, ou des satellites de Jupiter). La comparaison de cette mesure avec l'instant auquel se produit le même événement au méridien de référence (Greenwich par exemple) donne directement la longitude du lieu.

Djakarta), mais son voyage est annulé (probablement à cause de la dysenterie dont il souffrait à l'époque). En désespoir de cause, il pense alors à l'île Rodrigue, sans savoir que Pingré s'y rend aussi. Mais au mois de mars, l'espoir renaît : une flotte de renfort s'apprête à rejoindre le comptoir indien tant convoité. Le Gentil embarque, mais la météo désastreuse (c'était la mousson) retarde le convoi ; et à peine la destination est-elle en vue que le bateau fait demi-tour : Pondichéry vient de tomber aux mains de l'ennemi, et les renforts ne veulent pas risquer leur peau. Le Gentil tempête, exige qu'on le débarque n'importe où, en territoire ennemi s'il le faut, mais le capitaine refuse et trouve même cette insistance suspecte. Pourtant, Le Gentil assistera au transit... sous un ciel absolument radieux, depuis le pont de son bateau, ballotté au gré des vagues et au milieu de nulle part : ses observations seront dénuées de toute valeur scientifique. Rentré en île de France, il est si honteux de son échec qu'il décide de rester sur place jusqu'au prochain transit. Après tout, huit ans, ce n'est pas si long pour terminer un travail d'intérêt mondial...



Les pérégrinations de Le Gentil en 1760-1761.

3.2. De loyaux sujets de Sa Majesté

Les astronomes britanniques avaient eu vent des corrections apportées par les Français aux tables de Halley, mais c'est seulement en juin 1760 que la présentation de la mappemonde de Delisle précipite leurs préparatifs. La Société Royale décide d'envoyer des émissaires à l'île de Sainte Hélène et à Bencoolen (côte de Sumatra) ou à Batavia. Mais si l'île de Sainte Hélène est desservie par des lignes régulières, les destinations plus lointaines sont problématiques. En prenant conseil auprès de la Compagnie Hollandaise des Indes Orientales, les Anglais apprennent qu'il est trop tard pour envisager un voyage à Bencoolen avec les bateaux hollandais... mais ils maintiennent cependant cette destination comme objectif principal.

En plus d'un moyen de transport pour effectuer le voyage, il faut aussi trouver des instruments adéquats : à l'époque, un bon instrument coûtait la moitié du salaire annuel de Delisle, soit trois fois plus que celui de son assistant, le célèbre Charles Messier. Les Anglais possédaient peu de ces télescopes ; les transits seront l'occasion d'introduire des techniques de production de masse d'instruments optiques en Angleterre. Il fallait donc trouver de l'argent, beaucoup d'argent. La Société tente alors de jouer sur la fibre patriotique : comment, le seul observateur au monde de ce phénomène, ainsi que le savant qui est à l'origine de cette grande aventure scientifique, sont tous deux Anglais, et la Couronne n'organiserait rien, alors que toutes les Cours du monde, et en particulier les « froggies » voisins, multiplient leurs efforts ? Apparemment, ce genre de discours est efficace : la Société décroche d'importants subsides pour organiser les expéditions britanniques.

Le premier aventurier est vite trouvé : l'astronome royal lui-même, Nevil Maskelyne, partira pour Sainte Hélène. Il en profitera pour tenter de mesurer la parallaxe annuelle⁵ de l'étoile Sirius. Au départ, Charles Mason doit l'accompagner, mais celui-ci est finalement remplacé par Robert Waddington, et envoyé à Bencoolen avec un astronome amateur du nom de Jeremiah Dixon. Le 23 octobre 1760, nos deux compères signent leur contrat, tout en sachant que le retour au bercail ne sera pas direct, mais se fera via la Chine ou l'Inde. En décembre de la même année, ils embarquent à Portsmouth. À trente-quatre lieues à peine du port, leur embarcation rencontre un navire ennemi. Il s'ensuit une bataille violente, mais courte : après une heure de combats, les deux équipages déclarent forfait. Le navire anglais revient au port avec onze morts et 37 blessés (la plupart mortellement), et des dommages mineurs aux instruments astronomiques.

Cette escarmouche marine refroidit singulièrement les ardeurs de nos deux astronomes. Mason écrit à la Société que le navire a subi trop de dommages pour arriver à temps. La Société lui répond qu'il n'en est rien, et que ça ne se passera plus comme ça : la prochaine fois, ils seront escortés pour la traversée de la Manche. Déterminés à trouver une destination plus proche, Mason et Dixon écrivent trois lettres différentes à la Société, en précisant qu'ils refusent de partir là-bas, et qu'ils proposent plutôt d'aller observer le phénomène sur les côtes de la Mer Noire. La Société leur répond sèchement qu'il n'est pas question d'abandonner la tâche qui leur a été assignée, d'autant plus qu'ils ont reçu des avances en monnaie sonnante et trébuchante pour compléter leur entreprise. S'ils persistent dans leur refus, la Société n'hésitera pas à les traîner dans la boue... et devant les tribunaux : un scandale qui ruinera certainement leur carrière. Mason et Dixon, prudents, n'ont d'autre choix que de répondre en retour qu'ils partent le jour même – le 3 février 1761 – et qu'ils restent en toutes circonstances les « serviteurs les plus dévoués » de la Société.

Lorsqu'ils arrivent au Cap le 6 mai 1761, ils apprennent que Bencoolen est tombée aux mains des Français : cette fois, c'en est trop, ils n'iront plus nulle part, quelles qu'en soient les conséquences. Le 18 mai, ils observent une éclipse de Lune, et les jours suivants des éclipses des satellites de Jupiter : ils connaissent dès lors leur longitude. Le jour du transit, un ciel radieux leur permet d'observer précisément la danse de Vénus devant le Soleil.

Maskelyne n'aura pas cette chance : il n'a pu voir le Soleil et Vénus que de temps à autre, au gré de timides éclaircies. De plus, l'instrument qui devait servir à la détermination de la parallaxe de Sirius s'avère défectueux. Cela explique sûrement pourquoi la moitié de sa bourse fut consacrée à l'achat de liqueurs... Rejoint par Mason et Dixon (dont le demi-succès se transforme en victoire : leurs données seront les seules qui ont été obtenues dans la région cruciale de l'Atlantique Sud !), il terminera cependant avec bonheur ses autres tâches (mesure des marées, etc.).

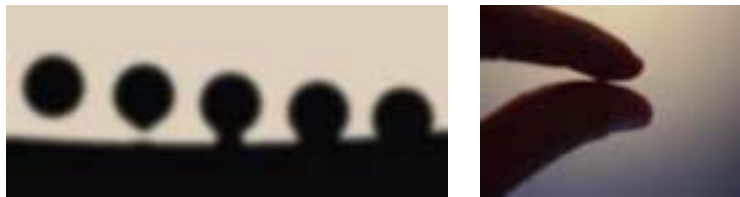
⁵ Il s'agit du déplacement apparent d'une étoile proche par rapport aux étoiles lointaines au cours de l'année.

À la surprise générale – et des Anglais eux-mêmes –, on apprendra plus tard l'existence d'une troisième expédition britannique. Elle est le fait d'un colon américain, John Winthrop, qui s'est installé à Saint John-Newfoundland (aujourd'hui Terre Neuve) : un voyage court et sans histoire, suivi d'une observation réussie, malgré les attaques de myriades d'insectes tentant de gâcher son travail.

On connaît finalement peu de choses sur les expéditions anglaises. Bien sûr, les astronomes britanniques ont connu des voyages moins mouvementés, mais il faut bien avouer que leurs collègues français avaient la plume plus facile (la logorrhée de Pingré est d'ailleurs bien connue) : ils ne manquèrent pas de raconter chacun leurs aventures en plusieurs volumes !

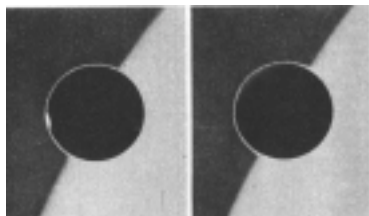
3.3. Résultats

Les deux grandes puissances de l'époque ne furent pas les seules à observer le transit de Vénus de 1761 : l'Allemagne, le Danemark, le Portugal, les Pays-Bas, la Suède et l'Italie participèrent également à la campagne d'observation ! Les Français décrochent la palme avec 31 observateurs : ils ont peut-être perdu la guerre maritime, mais pas la bataille scientifique ! Ils sont suivis par les Suédois (21), les Anglais (19), les Allemands (15) et les Italiens (9). En tout, il y eut 120 observations, réparties en 62 sites différents. Cet effort international sans précédent, entrepris dans des circonstances difficiles, eut des résultats – il faut bien l'avouer – plus que mitigés. La parallaxe solaire (c'est à dire l'angle que sous-tend un rayon terrestre vu depuis le Soleil, cf. annexe) fut estimée à une valeur comprise entre 8,3 et 10,6 secondes d'arc (ce qui correspond à une distance Terre-Soleil comprise entre 124 et 159 millions de kilomètres)... plus de deux secondes d'arc de différence entre les estimations extrêmes : c'est une erreur bien plus grande que ce que n'espérait Halley !



Le phénomène « de la goutte noire » (à gauche) peut être reproduit en approchant le pouce de l'index : on a l'impression que les doigts se touchent alors que ce n'est pas le cas en réalité.

Cette incertitude trouve sa cause dans la mauvaise connaissance des longitudes, mais



Mikhaïl Lomonossov fut, avec Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche, le premier à observer un anneau lumineux autour de la planète au début et à la fin du transit.

aussi dans le curieux phénomène dit de « goutte noire ». Lorsque le disque de Vénus « pénètre » dans le disque solaire, il ne s'en détache pas clairement : il semble plutôt s'étirer sous la forme d'une goutte, ce qui rend difficile la mesure précise des instants de contact. Cet effet indésirable est dû principalement à la diffraction de l'instrument d'optique

utilisé et à l'atmosphère terrestre : il s'aggrave si l'on effectue l'observation au voisinage de l'horizon, ou avec un télescope de petit diamètre.

Cependant, tout n'est pas si noir. Le transit révéla une propriété jusqu'alors inconnue de la planète Vénus : comme la Terre, elle possède une atmosphère. Celle-ci se dévoile lorsque Vénus commence à entrer ou à sortir du disque solaire, soit entre le premier et le deuxième contact ou entre le troisième et le quatrième : la planète est alors entourée d'une auréole diffuse... Seuls deux observateurs remarquèrent le phénomène en 1761 : Chappe et le Russe Mikhaïl Lomonossov ; bien peu les prirent au sérieux, même si la présence de l'auréole fut finalement confirmée par les Suédois.

4. Quelques années plus tard

La parallaxe solaire demeurant toujours incertaine, il fallait poursuivre les observations. Delisle étant décédé, c'est Lalande qui organise les efforts français. Après la Guerre de Sept ans, la France a perdu presque toutes ses colonies, et tente d'obtenir en Science l'hégémonie qu'elle a perdue outre-mer... Les Anglais, eux, n'ont pas digéré leur troisième place de 1761. Le combat – uniquement scientifique cette fois – va reprendre en 1769.

4.1. La France

Les Français intensifient donc leurs efforts : cette fois, ce n'est pas moins de 34 continentaux qui observeront le transit ! Pingré part au Cap François, à Saint-Domingue. Le but premier de cette expédition est de tester la fiabilité de nouvelles horloges marines, mais Pingré en profite pour observer le transit de 1769. Pierre-Antoine Véron embarque avec l'expédition circumterrestre de Bougainville, tandis que Lalande reste prudemment à Paris. Mais c'est encore Chappe et Le Gentil qui connaîtront les aventures les plus tumultueuses... et les plus tragiques.



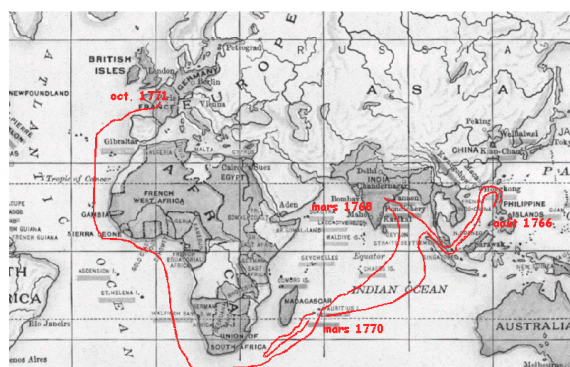
Carte de visibilité du transit de 1769.

- ***Le Gentil***

Dès 1765, le Gentil, qui n'est pas rentré en France, pense déjà au prochain transit. Il a étudié les sols, les marées, le magnétisme, le vent, etc. ; il s'est même plongé dans l'histoire de l'astronomie indienne. Mais le temps avance, et il ne veut cette fois plus manquer le rendez-vous de Vénus. Il annonce donc à l'Académie que Manille – alors colonie espagnole – lui semble un endroit idéal pour observer le transit, et il part là-bas sans même attendre la réponse de ses collègues, à bord d'un bateau espagnol. Il arrive ainsi à Manille le 10 août 1766, et envisage un temps de prolonger son voyage jusqu'aux îles Mariannes ; mais on l'informe du caractère plutôt irrégulier des liaisons avec cette destination (une fois tous les

trois ans...), et il renonce à son projet. Installé à Manille, il commence bien évidemment à en déterminer la longitude.

Le 10 juillet 1767, il reçoit enfin la réponse de l'Académie : Manille, pourquoi pas – cela pourrait servir à réunir des informations cruciales sur les Philippines en vue d'une prise de pouvoir par la couronne française – mais Pingré préférerait Pondichéry, comptoir redevenu français entre-temps. Le Gentil ignore le conseil de son collègue, mais la mauvaise volonté du gouverneur local lui fait reconsidérer son choix et lui fait penser de nouveau aux Mariannes. Il rate cependant le départ du bateau qui pourrait l'y emmener (une bonne chose, car celui-ci fait naufrage un peu plus loin : Le Gentil aurait perdu, sinon la vie, du moins tous ses instruments). Mais le mal est fait : cette insistance à rester en terre espagnole alors même que son gouvernement lui conseille de partir fournit un argument supplémentaire au gouverneur de la place... Le Gentil est un espion ! Harcelé, l'astronome français tente de sauver sa peau en embarquant plus ou moins clandestinement sur un bateau portugais en partance pour Pondichéry.



Les pérégrinations de Le Gentil en 1766-1771.

Après un mois d'un voyage cauchemardesque, il est accueilli en terre française le 27 mars 1768. Dès son arrivée, il entreprend de construire un observatoire sur les ruines de l'ancien fort de Pondichéry. Il détermine ensuite précisément ses coordonnées géographiques grâce aux éclipses des satellites de Jupiter et à une éclipse de Lune. L'espoir revient au cœur de l'astronome désespéré. Le mois de mai et le

début du mois de juin 1769 connaissent des conditions météorologiques exceptionnelles. La même météo radieuse persiste jusqu'à la veille du transit, et les notables complimentent déjà l'astronome pour ses futures observations. Mais il était écrit que Le Gentil était maudit : dès le début du transit, un nuage vient se placer devant le Soleil. Comble de malchance, une demi-heure après la fin de l'événement, le ciel se dégage complètement... et pour enfoncer davantage encore le couteau dans la plaie, il a fait magnifique à Manille ce jour-là.

Désespéré, Le Gentil sombre dans la dépression. Il veut quitter Pondichéry au plus vite, mais il ne peut embarquer car il est entre-temps tombé malade. Il survit de justesse et tente de repartir le plus vite possible. Il embarque finalement en mars 1770 et gagne l'île de France. En guise d'accueil, il y apprend la mort de Véron, qu'il avait rencontré en Inde et qui avait manqué le transit lui aussi – comme Le Gentil en 1761, il était en mer au beau milieu de l'événement. La maladie le rattrape alors, et sa convalescence durera sept longs mois. Toutefois, il veut repartir le plus vite possible – la vue de l'île lui est devenue insupportable ; en novembre, il trouve enfin un navire, mais deux semaines après le départ, celui-ci essuie une tempête qui le force à rentrer au port. Plusieurs mois passent encore : Le Gentil ne tient plus en place. Fin mars 1771, il embarque finalement dans un vaisseau espagnol qui passait

par là. Après un voyage presque sans encombre, il débarque à Cadix, puis passe enfin les Pyrénées : il regagne la France le 8 octobre 1771, soit après onze ans, six mois et treize jours d'absence !

Ses mésaventures ne sont cependant pas terminées. Arrivé à Paris, il constate qu'on le croit mort : son siège à l'Académie a été donné à un autre, et ses héritiers sont en train de se partager ses biens. Il tempête, finit par récupérer son siège académique sur l'intervention expresse du roi, et intente un procès à ses héritiers – il ne recouvrera ses biens qu'après moult démarches. Mais son histoire se termine bien : il épouse une riche héritière, a une enfant qu'il chérit plus que tout, et meurt heureux en 1792, sans avoir connu, lui le sang bleu, les pires moments de la Révolution.

- **Chappe**

Dès 1767, Chappe se propose pour partir dans les mers du Sud. Les Espagnols refusent néanmoins de l'y emmener, et préfèrent le transporter en Basse-Californie (Mexique), un voyage qu'ils ont refusé aux Britanniques. Chappe quitte donc Paris le 18 septembre 1768 avec un serviteur, un ingénieur-géographe, un artiste et un horloger. Tout ce monde embarque au Havre le 21 septembre pour rejoindre l'Espagne. Ils essuient quelques tempêtes dans le Golfe de Gascogne, et mettent 26 jours pour attendre Cadix... où leur flotte est retardée deux longs mois ! Deux astronomes espagnols viennent renforcer l'équipe scientifique, qui quittent finalement Cadix le 19 décembre. Le 8 mars 1769, ils arrivent enfin à Vera Cruz. Par voie de terre et de mer, ils rejoignent une petite mission espagnole nommée San Jose del Cabo, où ils arrivent le 16 mai. On leur conseille cependant de repartir aussitôt : le *vomito negro*, une sorte de typhus ou de fièvre jaune, gronde dans la région. Chappe refuse : s'ils partent maintenant, ils n'auront jamais le temps d'installer un observatoire correct pour le jour du transit. Ils restent donc à San Jose – une décision qui se révélera funeste !

Le 3 juin 1769, Chappe observe Vénus avec sa minutie habituelle. Grâce à l'éclipse de Soleil du 18 juin et aux éclipses des satellites de Jupiter, il détermine en outre sa longitude avec une bonne précision. Mais il est resté trop longtemps... l'épidémie rattrape la malheureuse expédition française, et elle décime les trois-quarts de la population de San Jose. Chappe, cruellement atteint, lutte pour continuer à observer. Il succombe finalement le premier août, âgé de 41 ans. Cette expédition ne comptera que peu de survivants : parmi les Français, seul l'ingénieur-géographe rentre au bercail avec les instruments, le récit de leur infortune et... les précieuses données si chèrement acquises.

4.2. Le Royaume-Uni

Dès 1763, la Société Royale bat le rappel. Comme les Français, les astronomes britanniques pensent encore que la méthode de Halley est la meilleure pour déterminer la distance Terre-Soleil, malgré les résultats peu convaincants de 1761. Et le Royaume-Uni veut combattre l'hégémonie française : ils ont gagné la Guerre de Sept Ans, ils remporteront également celle du transit ! Cette fois, Mason et Dixon restent prudemment non loin de chez

eux, en terre civilisée : le premier part en Irlande, le second à Hammerfest, une île norvégienne. Cependant, il faut absolument des observateurs ailleurs. En 1766, la Société discute les arrangements pratiques des expéditions, et un comité décide de trois destinations cruciales : les Mers du Sud ; Vardö, une île au nord de la Norvège ; et Fort Churchill, dans la Baie d'Hudson (Canada). Un des membres de ce comité suggère d'entraîner les observateurs potentiels en construisant un Soleil artificiel et une Vénus miniature – une bonne idée, mais on ignore si elle fut mise en pratique. Toute la nation participe à l'effort astronomique : le roi Georges III lui-même se fit construire un observatoire privé, dans les jardins royaux de Kew pour pouvoir observer cet événement exceptionnel sans déranger les professionnels !

- ***Dymond et Wales***

William Wales a retenu la leçon des aventures de son collègue Chappe. Il accepte de partir, mais uniquement dans un site à la température agréable, situé sur le chemin de lignes régulières : bref, dans un endroit civilisé. La Société Royale décide d'exaucer son vœu en l'envoyant à Fort Churchill, en compagnie de Joseph Dymond. Ce comptoir canadien est en effet bien desservi... mais uniquement pendant les deux mois de l'année où il n'est pas bloqué par les glaces. En partant en 1769, ils arriveraient après le transit... Ils doivent donc partir un an plus tôt et passer l'hiver là-bas.

Dymond et Wales quittent donc le Royaume-Uni le 23 juin 1768 et arrivent le 9 août à destination. La température est effectivement agréable, mais des nuées de petites et grandes mouches, ainsi que des moustiques plutôt hargneux, gâchent singulièrement leur arrivée. Cependant, ces insectes disparaissent rapidement... et le froid s'installe. Dymond et Wales ont à peine fini de construire leur observatoire qu'ils retrouvent leur lit complètement gelé le matin ; une pinte de brandy devient solide en moins de cinq minutes, et ce alors même que le poêle fonctionne jour et nuit ! Fort Churchill est bien éloigné du paradis tempéré dont avait rêvé Wales... Heureusement, le printemps revient et, le jour du transit, tout se déroule parfaitement. Wales connaîtra juste quelques problèmes douaniers au retour, car il a rapporté des pièces d'artisanat local...

- ***Cook***

Cependant, l'expédition dans les mers du Sud est la plus importante. Car il ne s'agit pas seulement d'astronomie : une nation commerciale comme l'Angleterre, aussi puissante sur toutes les mers, se doit d'avoir une tête de pont dans l'océan Pacifique...

La Société Royale pensait confier la mission scientifique, cruciale entre toutes, à Alexander Dalrymple, un astronome qui avait déjà beaucoup voyagé. L'Amirauté ne veut pas en entendre parler, car le voyage du *Paramour Pink* en 1698 est encore dans toutes les mémoires. Conduite par Halley, cette expédition devait tenter de résoudre le problème des longitudes, mais l'astronome n'avait pu contenir l'équipage, et on avait même frôlé la mutinerie : le *Paramour Pink* était revenu bien vite au port. Suite à ce désastre, on avait décidé que les bateaux de Sa Majesté devaient désormais être commandés par des officiers de la Marine royale – et en tout cas jamais plus par un de ces fantasques astronomes, catégorie à

laquelle appartenait incontestablement Dalrymple... L'Amirauté proposa donc de nommer comme chef de l'expédition un jeune lieutenant quasiment inconnu : James Cook.



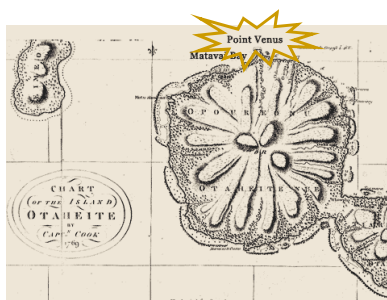
Le capitaine James Cook.

Celui-ci était aussi astronome amateur : il avait observé l'éclipse d'août 1766, et son rapport avait été lu devant la Société Royale au grand complet. Celle-ci ne pouvait donc refuser, mais elle adjoignit à Cook un de ses membres, l'astronome Charles Green, beau-frère de William Wales. Un riche amateur d'histoire naturelle, Joseph Banks, se joignit à l'équipe – en payant probablement son voyage. L'équipe scientifique formée, il restait à choisir sa destination : il n'était pas question de se retrouver en pleine mer le jour du transit, à l'instar de Le Gentil en 1761.

Quelques semaines seulement avant le départ, un autre explorateur, le capitaine Samuel Wallis, était revenu de voyage ; il apportait une solution au problème, car il venait de découvrir une île en plein océan Pacifique, l'île du roi Georges III (la future Tahiti)... un endroit vraiment paradisiaque, peuplé d'indigènes peu farouches. Les femmes étaient en effet très libres et, comme les Tahitiens ne connaissaient pas le métal, elles accordaient leurs faveurs plus facilement encore en échange de cette précieuse substance. Les matelots esseulés avaient évidemment exploité ce penchant, tant et si bien que le bateau anglais avait pratiquement été démembré (quoi de plus métallique et de plus nécessaire... qu'un simple clou ?) ; le capitaine avait dû quitter l'île à la hâte en priant pour que son embarcation ne coule pas !

Le vaisseau *Endeavour* se mit en route le 26 août 1768 sous la direction de Cook. Ce dernier avait pris soin d'embarquer une importante cargaison de clous... et une cargaison de choucroute : on avait en effet découvert que ce mets permettait d'éviter le scorbut. Mais le palais anglais y était peu habitué ; pour convaincre ses hommes, le perspicace Cook fit d'abord servir la choucroute à la table des officiers. Cela ne rata pas : quelques jours suffirent pour que les marins exigent d'être traités de la même façon !

Après un voyage calme, l'*Endeavour* arrive à Tahiti deux mois avant le transit. Les Anglais érigent rapidement « Fort Vénus » (et l'endroit de la construction porte aujourd'hui



Le lieu de l'observation de Cook.

encore le nom de « Pointe Vénus »). Mais ils découvrent rapidement le revers de la médaille : si les indigènes n'ont aucun sens de la propriété et offrent tout ce qu'ils (ou elles !) ont sans arrière-pensée, cela s'applique aussi aux avoires anglais. Au nez et à la barbe des gardes, une partie du stock de clous disparaît ainsi un matin – certains pensent qu'il faut plutôt blâmer l'équipage que les insulaires... Cook se désole : ce vol va faire « baisser le cours du fer ». Et lorsqu'on ouvre la boîte censée contenir

le quadrant astronomique, on la trouve vide ! À trois semaines du transit, ce vol tombe au plus mal. Les Anglais, furieux, retiennent quelques otages, tandis que Banks et Green arpentent l'île pour retrouver l'instrument. Alors qu'ils sont à la recherche d'un chef tahitien qu'ils soupçonnent, les deux compères voient soudain passer devant leurs yeux ébahis un indigène transportant une partie du quadrant sous le bras. Ils se saisissent de lui, et exigent d'être conduits devant le chef indélicat. Devant l'assemblée réunie, Banks fait un discours qui émeut les insulaires – ou est-ce plutôt le tonnerre déclenché par ses deux pistolets qui les impressionne ? – au point qu'ils finissent par rapporter, l'un après l'autre, tous les morceaux de l'instrument.



Le capitaine Cook et son expédition à Tahiti.

Cook et Green bénéficient d'une météo superbe le jour du transit, et leurs observations



L'observation du transit de 1769 par James Cook.

– les seules prises au milieu du Pacifique – sont bien entendu de première importance. Cependant, la mission n'est pas terminée. Ils poursuivent leur expédition plus au sud-ouest, et découvrent la Nouvelle-Zélande, dont ils cartographient la côte pendant six mois. Ils repartent néanmoins, à la recherche du mythique continent austral : on pensait en effet à l'époque qu'il devait exister une grande terre dans l'océan Pacifique pour contrebalancer les terres de l'hémisphère boréal. Un peu plus à l'Ouest, ils rencontrent en effet un continent, l'Australie, dont ils cartographient 3 000 kilomètres de côtes en remontant vers le Nord. Ils atteignent la Grande Barrière de Corail,

qui endommage gravement le vaisseau anglais, ce qui les contraint à faire escale à Batavia pour réparer les dégâts. Si Cook a réussi à écarter le spectre du scorbut pendant les longs mois passés en mer, il ne peut en revanche rien contre la malaria et la dysenterie qui exterminent ses hommes durant cette escale. Ils finissent par rentrer, toutes leurs missions accomplies, le 13 juillet 1771. L'équipage n'est pas sorti indemne du voyage : sur les 94 hommes embarqués, seuls 56 reviennent au port, et l'astronome Green n'en fait pas partie. Cook ne lui survivra que peu de temps : il repart en expédition, et meurt finalement, assassiné par les indigènes des îles Sandwich (aujourd'hui Hawaï) en 1779.

• *Une colonie qui se développe*

La Société Royale ne patronna pas toutes les expéditions britanniques. De nouveau, la colonie américaine entend se démarquer et prouver qu'elle n'a pas besoin de l'Angleterre – tant politiquement que scientifiquement. Indépendamment de la métropole, les Américains observèrent donc le transit, mettant eux aussi sur pied de petites expéditions. Des astronomes amateurs furent même impliqués, et on ne dénombre pas moins de 19 mesures de bonne

qualité en provenance de la colonie. Outre-Atlantique, on connut aussi des initiatives privées, soutenues par un riche marchand de la ville de Providence, ou par l'*American Society of Philosophy* de Philadelphie, mais aussi des initiatives publiques. Une expédition prévue dans la région du Lac Supérieur dut néanmoins être annulée à cause du manque de soutien (financier surtout) du gouverneur en place.

L'Amérique naissante nous livre même une anecdote amusante : David Rittenhouse, horloger de son état et chef des astronomes américains pour l'occasion, avait décidé d'observer le phénomène depuis sa ferme, sise près de Philadelphie. Il est si excité par Vénus qu'il est victime d'une crise d'hyperventilation et qu'il s'évanouit avant même le premier contact. Il finit néanmoins par retrouver ses esprits, et tente quelques mesures avant la fin du phénomène.

4.3. Et ailleurs... l'honneur perdu de Maximilien Hell

Tout ne fut pas aussi drôle, comme le prouve l'histoire de Maximilien Hell, jésuite hongrois qui avait observé le transit de 1761 depuis Vienne. Il est invité par le roi de Danemark-Norvège à venir observer le passage de Vénus de 1769 depuis l'île de Vardø. Intéressé, Hell quitte Vienne le 28 avril 1768 avec un collègue jésuite ; ils sont rejoints en route par un astronome danois et un botaniste. Cette singulière compagnie arrive à destination le 11 octobre 1768. Le jour du transit, le ciel quelque peu nuageux s'entrouvre aux instants cruciaux, l'entrée et la sortie de Vénus. Heureux, ils entonnent un Te Deum et tirent un coup de canon pour remercier le ciel.

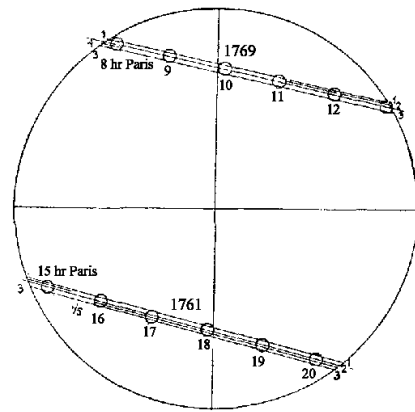


Le père Hell, revêtu d'habits lapons.

Cependant, Hell retarde l'envoi de ses données aux Français. Lalande les lui demande avec insistance, Hell refuse de les fournir. Les Français y voient la marque du mensonge : Hell n'a rien vu et tente simplement de « fabriquer » des mesures. En plus, c'est l'occasion rêvée pour discréditer encore un peu plus les disciples de Saint Ignace, peu en odeur de sainteté à l'époque. Hell finit malgré tout par présenter ses résultats à l'Académie danoise des Sciences le 24 novembre 1769. La controverse ne s'éteint pas pour autant. En 1835, le successeur de Hell à Vienne, Carl Ludwig Littrow, retrouve le journal de Hell. Il y découvre des choses étonnantes : ratures, corrections suspectes, données écrites avec une encre d'une autre couleur,... La mémoire de Hell semble salie à tout jamais, jusqu'à ce qu'un astronome américain, Simon Newcomb, se penche à nouveau en 1883 sur les documents originaux : il prouve que les changements notés par Littrow ont très certainement été faits au moment même du transit et non après. De plus, le daltonisme de Littrow était connu, et c'est par erreur qu'il a cru voir des encres de couleurs différentes. L'honneur de Hell est sauf. On se rendra même compte que ses observations figuraient parmi les meilleures du transit de 1769...

4.4. Résultats

Le transit de 1769 suscita un intérêt encore plus grand que le précédent : sont répertoriés pas moins de 151 observateurs différents répartis en 77 sites. Mais cette fois, la France perd la première place : avec 34 observateurs – un chiffre pourtant plus élevé qu’en 1761 –, elle est loin derrière le Royaume-Uni (69 observateurs !... grâce, il est vrai, à l’aide précieuse et indépendante des colons américains). Bien que certains de ces observateurs avaient pu s’entraîner lors du transit précédent, il faut bien avouer que les résultats ne furent pas bien meilleurs – l’effet de goutte noire



1761:- 1. Rodrigues 2. Paris 3. Tobolsk
1769:- 1. Tahiti 2. Batavia 3. Vardo 4. Paris

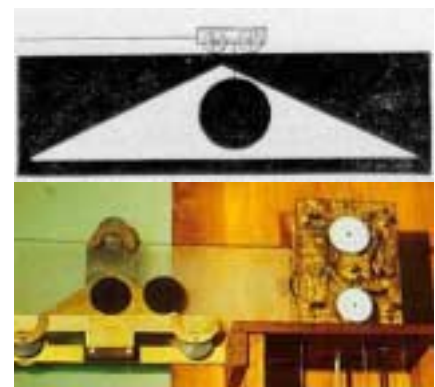
Les différences de trajet de Vénus sur le disque solaire en 1761 et 1769 : le déplacement est infime, et explique la difficulté de la mesure.

et l’incertitude sur les longitudes continuaient à poser problème. On arriva à une parallaxe variant d’un pays à l’autre de 8,4 à 8,8 secondes d’arc (soit une distance au Soleil de 149,5 à 156,6 millions de kilomètres), et les débats firent rage à travers le monde pour savoir qui avait raison... Mais les scientifiques d’alors ne possédaient pas certains outils mathématiques de nature à leur faciliter la tâche, comme l’utilisation de méthodes du type « moindres carrés ». Au XIX^e siècle, en utilisant ces nouvelles techniques pour combiner les mesures du siècle précédent, en corrigeant certaines erreurs et en attribuant un poids moindre aux données les plus incertaines, l’astronome Johann Franz Encke déduisit que les deux transits du Siècle des Lumières conduisaient à une valeur de la parallaxe solaire de 8,5776 secondes d’arc, soit une valeur plus petite de 2,5% par rapport à la valeur moderne. Néanmoins, on était en droit d’espérer plus de précision encore pour une donnée aussi fondamentale.

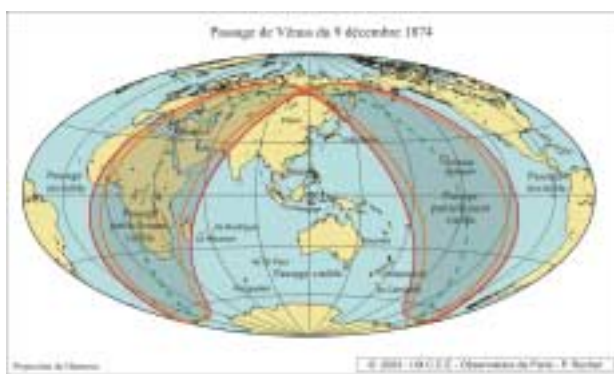
5. L’Amour au temps des Romantiques

Au XIX^e siècle, la détermination des longitudes s’améliore et de nouvelles techniques, telle la photographie, apparaissent. Néanmoins, le monde scientifique ne parvient pas à se mettre d’accord sur la valeur de la distance entre la Terre et le Soleil. L’engouement pour Vénus se ravive donc.

Pour tenter d’améliorer la précision, on procède à diverses expériences préliminaires. On remarque que le chronométrage d’un instant donné diffère d’une personne à l’autre, parfois de plusieurs dixièmes de seconde – une différence que l’on tente de corriger grâce à une « équation personnelle » établie pour chaque observateur. En outre, on ne lésine pas sur l’entraînement ; en France, Charles Wolf dispose lampes et écrans à la fenêtre d’une bibliothèque située dans les jardins du Luxembourg pour



Simulateur de transit (schéma et réalisation de Georges Airy).



Carte de visibilité du transit de 1874.

reproduire artificiellement un transit. Il fait examiner ce montage depuis l'observatoire de Paris... Les Américains, désormais indépendants, construisent eux aussi un simulateur de transit devant le département de la Guerre à Washington. Tout astronome désireux de participer aux mesures doit s'entraîner à contempler ce dispositif depuis l'observatoire naval, situé à un

kilomètre de là. En outre, on décide d'utiliser les techniques photographiques⁶ : l'œil impersonnel de la caméra éliminera, pense-t-on alors, toutes les erreurs humaines.

• 1874

Enfin prêts, les astronomes choisissent leurs destinations. Sous la houlette de Georges Airy, les Anglais envoient cinq expéditions à travers le monde, destinées à acheminer les astronomes vers huit stations bien choisies : une à Alexandrie (Égypte), une en Nouvelle-Zélande, une à l'île Rodrigue (en hommage à Pingré ?), deux aux îles Kerguelen, et trois à Hawaii. En plus, une expédition privée, conduite par Lord James Ludovic Lindsay, se déploiera à l'île Maurice (ex île de France) ; le navire de Lindsay sera baptisé fort opportunément « Vénus ». Les expéditions anglaises auront au moins une retombée – un désastre écologique aux îles Kerguelen : les honorables astronomes de Sa Majesté y ont malencontreusement lâché des lapins...

La Russie installe une petite trentaine d'observatoires sur l'ensemble de son territoire, de la Mer Noire à la Mer du Japon. L'observatoire naval américain (USNO) se décide pour sept stations, dont trois dans l'hémisphère boréal (Pékin, Vladivostok et Nagasaki). James Watson, qui s'est établi à Pékin pour observer le transit, découvre un astéroïde, qu'il baptise en l'honneur de ses hôtes Shui Hua Hsing (l'étoile chinoise de bon augure). Le découvreur des lunes de Mars, Asaph Hall, est envoyé à Vladivostok. L'hiver sibérien n'est pas tendre pour Hall : les lubrifiants gèlent, le toit menace de s'envoler sous les rafales d'un vent tempétueux, et les appareils photographiques sont inutilisables... Cinq des missions américaines de 1874 se déroulent dans l'hémisphère Sud, mais une tempête les oblige à abandonner l'un des sites, et le temps est couvert pour toutes ces missions australes, sauf celle organisée en Nouvelle-Zélande. Friands de nouvelles technologies, les Américains réussissent à obtenir 200 photos de la danse de Vénus devant le Soleil...



À Hawaii, on attend le transit...

⁶ Avec les photos, on ne mesure plus la durée du transit, mais la position de Vénus au cours de son trajet.

La France tient évidemment à maintenir sa réputation. Elle envoie six expéditions à travers le monde : à Pékin (Chine), Nagasaki (Japon), Saigon (Indochine), Nouméa (Nouvelle Calédonie), et sur les îles Campbell et Saint Paul. La malchance poursuit cependant encore les Français : un malade à Pékin, un mort de la typhoïde à l'île Campbell, et un cyclone sur l'île Saint Paul, juste après une observation parfaitement réussie... au milieu des manchots. Quelques problèmes aussi pour l'expédition japonaise. Celle-ci essuie d'abord deux typhons pendant le voyage. Les observateurs décident ensuite de changer de site d'observation : en décembre, la météo de Nagasaki est paraît-il meilleure que celle de Yokohama, la ville initialement choisie. À peine arrivés sur place – avec cinq cents porteurs pour hisser le matériel au sommet du mont de Kompira –, une tempête détruit un des télescopes. Et le ciel, plutôt clément, est cependant loin d'être parfait le jour du transit – alors qu'il est radieux à Yokohama... Pour la petite histoire, notons que l'astronome Pierre-Jules Janssen participe aussi à l'aventure. Baptisé le « spécialiste des phénomènes fugitifs » par un collègue, Janssen s'intéressait aux éclipses de Soleil. Il s'enfuit même de Paris en ballon en décembre 1870 – la capitale française était alors assiégée par les Prussiens – pour observer une éclipse à Oran, en Algérie... ; mais lorsqu'il y arriva, des nuages le privèrent de l'observation tant espérée ! D'éclipses de Soleil par la Lune aux éclipses de Soleil par Vénus, il n'y a qu'un pas que Janssen franchit sans faiblesse. Pour l'occasion, il invente même un « revolver photographique » pour réaliser des séquences d'images rapprochées – cet appareil est considéré comme le précurseur du cinématographe des frères Lumière (Janssen sera d'ailleurs l'un des premiers sujets cinématographiés par les célèbres frères !).



*Pierre-Jules Janssen
(1824-1907).*

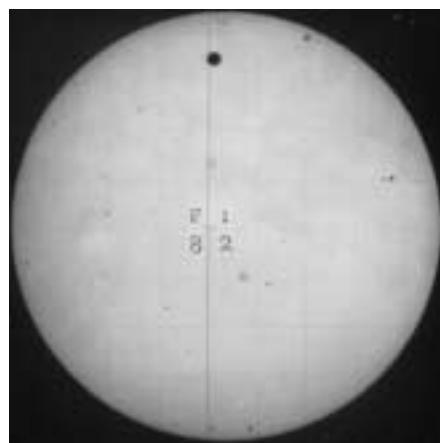


Installations françaises en île Saint Paul, et des photographies du transit réalisées lors de cette expédition.

Avec une telle débauche d'énergie, les résultats auraient dû être meilleurs... l'amélioration fut presque négligeable. La photographie naissante restait plus qu'imprécise, et même avec l'introduction des « équations personnelles », des différences importantes subsistaient entre les mesures prises au sein d'un même groupe... L'astronome américain Newcomb, qui avait organisé les efforts de 1874, se dira même convaincu que la méthode de Halley ne fonctionnait pas. Pire : David Gill, qui faisait partie de l'expédition Lindsay en 1874, détermina en 1877 la parallaxe solaire avec une erreur de seulement 0,2% par rapport à la valeur moderne lors d'une opposition de Mars (8,78 secondes d'arc). La révolte gronde : l'observation scientifique du transit de 1882 est-elle bien nécessaire ?

à l'explosion du volcan Krakatoa en Indonésie.

Notons pour conclure que parmi toutes ces expéditions, il y en eut deux belges, l'une au Chili et l'autre à San Antonio, au Texas. Ces voyages astronomiques constituent la première mission scientifique organisée par le jeune royaume de Belgique. Les astronomes emportaient des instruments spécialement conçus pour l'occasion par le directeur de l'observatoire, Jean-Charles Houzeau, qui sera le premier astronome au monde à publier les résultats du transit de 1882.



Une des rares plaques photographiques rescapées de 1882.

Bien sûr, les retombées scientifiques de ces transits du XIX^e siècle ne furent pas extraordinaires. Les mesures reposaient sur des méthodes trop anciennes pour être précises (méthode de Halley), ou trop récentes pour être fiables (la photographie). Néanmoins, William Harkness, un Américain qui avait repris le flambeau abandonné par Newcomb, calcula avec l'ensemble des données du XIX^e siècle une parallaxe de $8,842 \pm 0,012$ secondes d'arc, ce qui correspond à une distance Terre-Soleil de $148\,788\,000 \pm 199\,600$ kilomètres. Ce n'était pas si mal, finalement !

6. Le XXI^e siècle a rendez-vous...

Aujourd'hui, l'observation du transit semble dénuée de tout enjeu. Pourtant, les astronomes utiliseront quand même cet événement pour faire des mesures, notamment pour sonder l'atmosphère de Vénus mais aussi pour étudier l'effet de « goutte noire » dans le domaine des rayons X ! Et quand bien même aucun intérêt scientifique n'y serait lié, les transits restent importants : outre le joli spectacle offert par notre sœur céleste, c'est l'occasion de se rappeler que la Science n'est pas chose aisée, et que des hommes lui ont sacrifié leur santé, leur réputation, voire même leur vie. Rendons-leur hommage... et rappelons-nous aussi qu'aucun de ces héros n'est plus en vie à l'heure actuelle, tout comme nous ne pourrons plus nous-mêmes témoigner lors de la prochaine vague de transits au XXII^e siècle.

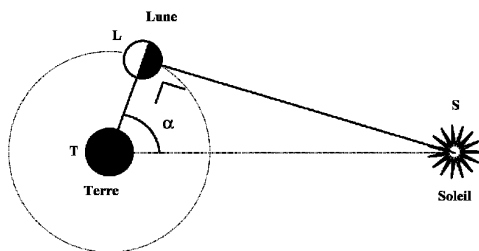
Ces transits de 2004 et de 2012 seront aussi l'occasion d'un magnifique engouement populaire. Dès le début, des astronomes amateurs ont participé à l'observation du transit – en petit nombre d'abord, puis en masses plus compactes. Ensemble, fêtons ce rendez-vous céleste comme il se doit... et mesurons « pour jouer » la distance Terre-Soleil, à l'ancienne !

Encore un mot : amis belges, ne ratez pas le rendez-vous du 8 juin 2004. Le dernier transit entièrement visible depuis nos contrées a eu lieu en... 1283, et n'eut aucun témoin. Le prochain se déroulera en 2247 ; et à moins d'un progrès fulgurant de la médecine, nous ne serons plus là pour le voir... !

Annexe : L'Unité Astronomique

La distance entre la Terre et le Soleil est une quantité fondamentale, tellement importante qu'on lui a donné le nom d'« Unité Astronomique » (UA). Elle nous donne en effet accès à une mine de renseignements. Premièrement, depuis les travaux de Kepler, toutes les distances dans le Système solaire sont connues à une échelle près, l'UA. Sa détermination nous permet donc de connaître la taille et la distance des planètes, comètes et autres astéroïdes qui peuplent le Système solaire. Sa mesure nous permet aussi d'évaluer la luminosité réelle du Soleil, ce qui ouvre la voie à une foule d'éléments physiques – et pose la question de l'origine de la quantité prodigieuse d'énergie délivrée par notre étoile. Enfin, il ne faut pas oublier que l'UA nous sert d'unité de base dans l'évaluation de la distance des étoiles⁷ !

Cependant, comment évaluer cette distance, ô combien précieuse ? Cette question tarabuste les hommes depuis l'Antiquité, et la réponse n'est certes pas facile à trouver. Passons rapidement sur les évaluations plus ou moins ésotériques. Anaximandre proposa que le Soleil était un trou dans un anneau de feu, et que ce trou était de la même taille que la Terre. Dans le même ordre d'idée, Huygens supposa que les tailles de Vénus et de la Terre étaient voisines, un fait qui s'avéra par la suite exact, mais qui ne reposait à l'époque sur aucune base scientifique. Horrocks, enfin, pensait que la taille de l'orbite des astres autour du Soleil était proportionnelle à la taille physique de ces mêmes astres. Ayant déterminé le diamètre angulaire de Vénus et connaissant le rapport entre la distance Terre-Soleil et la distance Vénus-Soleil (cf. plus loin), il déduisit que le Soleil se trouvait à 15 000 rayons terrestres : c'est bien plus qu'on ne croyait à l'époque, mais seulement 60% de la valeur réelle !



La méthode d'Aristarque.

La première estimation réellement scientifique de l'UA fut réalisée par Aristarque de Samos en 250 av. J.C⁸. En supposant que le Soleil est situé à une distance finie de la Terre, Aristarque conclut que la Lune aux premier et dernier quartiers ne se trouve pas exactement dans une direction perpendiculaire à l'axe Terre-Soleil. Le savant grec savait que la durée qui sépare la

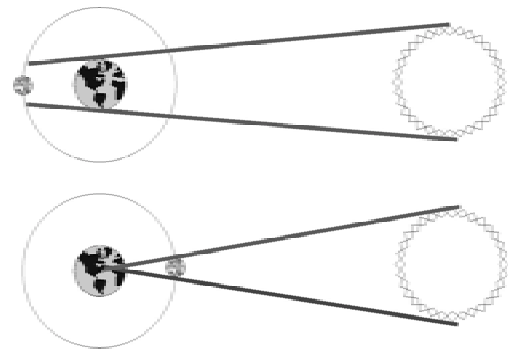
nouvelle Lune du premier quartier était plus courte de douze heures que celle qui sépare le premier quartier de la pleine Lune. Il en déduisit qu'au premier quartier, l'angle Terre-Lune-

⁷ En observant une étoile proche de deux points opposés de l'orbite terrestre (en juin et en décembre, par exemple), on la voit se déplacer par rapport au fond des étoiles lointaines : c'est l'effet de parallaxe annuelle. En mesurant cet angle, et connaissant l'UA, on peut calculer la distance de cette étoile. Pour mieux comprendre le lien entre angle et distance, faites l'expérience suivante : tenez votre pouce à bout de bras et regardez la façon dont il se déplace par rapport à un mur éloigné lorsque vous cachez un oeil puis l'autre. Recommencez ensuite l'expérience en pliant le bras : le pouce semble se déplacer davantage. La parallaxe est inversement proportionnelle à la distance de l'objet étudié et proportionnelle à la longueur de la « base » (la distance entre vos deux yeux pour l'expérience ci-dessus, deux fois l'UA pour le cas stellaire).

⁸ Il se peut qu'Aristarque se soit inspiré d'une méthode plus ancienne.

Soleil valait 87° (l'angle α de la figure ci-dessus), ce qui relègue le Soleil à une distance 19 fois supérieure à celle de la Lune. Mais l'orbite de la Lune n'est pas circulaire et la vitesse de Séléné sur son orbite n'est donc pas constante : en réalité, l'angle α vaut $89,85^\circ$ et le Soleil est 390 fois plus éloigné que la Lune. Notons que cette méthode fut utilisée en 1630 avec plus de précautions par Vendélius, qui obtint un angle de $89,75^\circ$, ce qui correspond à un Soleil 230 fois plus éloigné que la Lune.

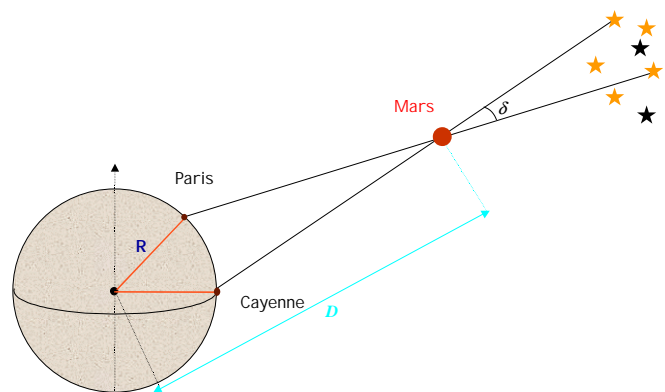
Ptolémée avait, lui, plutôt songé à utiliser les éclipses. Lors d'une éclipse de Soleil, la Lune recouvre entièrement ce dernier : leurs tailles angulaires sont donc égales, et on en déduit que le rapport des rayons de la Lune (connu) et du Soleil égale le rapport de la distance Terre-Lune (connue) sur la distance Terre-Soleil. D'autre part, lors d'une éclipse de Lune, cet astre se trouve dans le cône d'ombre de la Terre, et Ptolémée évaluait la largeur de ce cône, à la distance de la Lune, à 2,6 diamètres lunaires. Cette configuration permet alors de déterminer une relation entre le rayon terrestre (connu), le rayon du Soleil et la distance Terre-Soleil. En combinant les deux relations et en utilisant les estimations de l'époque, Ptolémée trouva que le Soleil était distant d'environ 1 200 rayons terrestres.



La méthode de Ptolémée.

Peu de progrès sur cette question furent accomplis pendant le Moyen-Âge, et même après. Les astronomes, y compris Copernic et Kepler, reprennent généralement les valeurs antiques. Kepler se rend néanmoins compte que sa théorie ne s'accorderait pas avec les observations si la parallaxe de Mars dépassait quelques minutes d'arc. Il en déduit que le Soleil est très éloigné et que sa parallaxe – l'angle sous lequel un rayon terrestre est vu depuis le Soleil – vaut bien moins d'une minute d'arc, ce qui place le Soleil à une distance supérieure à 3 500 rayons terrestres (qu'il faut comparer à la valeur réelle, qui est de 23 500 rayons terrestres).

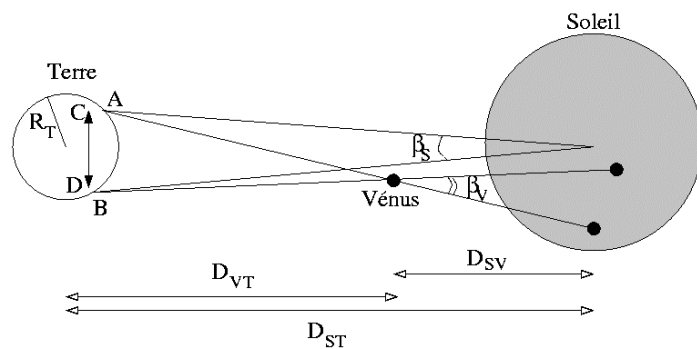
En 1672 se produisit une opposition de Mars : Mars, la Terre et le Soleil étaient alignés dans cet ordre. On pensa utiliser cette configuration particulière pour évaluer la distance Terre-Soleil. En effet, si l'on observe Mars simultanément depuis deux endroits distincts de la Terre, on ne verra pas la planète exactement au même endroit par rapport au fond des étoiles. Le même phénomène se produit si l'on observe la Planète rouge depuis le même endroit, mais à deux moments



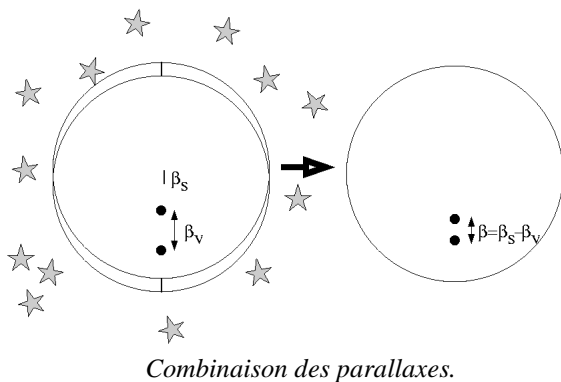
La mesure de la parallaxe de Mars.

différents : c'est alors la rotation de la Terre qui entraîne l'observateur en deux points distincts de l'espace (voir dessin). En mesurant l'angle dont s'est déplacé Mars, on peut évaluer sa distance et partant, toutes les tailles dans le Système Solaire grâce à la troisième loi de Kepler. En 1672, l'Anglais John Flamsteed observa donc Mars à divers moments de la nuit, tandis que Jean Dominique Cassini et Jean Richer faisaient la même chose au même moment, l'un à Paris, l'autre à Cayenne, en Guyane. Flamsteed calcula pour l'UA une valeur de 131 millions de kilomètres, tandis que Cassini obtenait 140 millions de kilomètres. L'accord entre ces deux valeurs pourrait sembler satisfaisant, s'il n'était gâché par l'évaluation de l'abbé Jean Picard, faite à partir des mêmes données que Cassini, selon laquelle la Terre était éloignée de 65 millions de kilomètres du Soleil ! Aujourd'hui, les experts s'accordent à penser que la précision limitée des instruments de l'époque n'était pas suffisante pour mesurer la véritable parallaxe de Mars, et que les valeurs obtenues ne sont en réalité que des bornes inférieures, et non une valeur absolue de l'UA. Au milieu du XVIII^e siècle, l'abbé Nicolas-Louis de La Caille renouvela ce type de mesure pour Mars et Vénus, et il réussit à obtenir une valeur de 10 ± 1 secondes d'arc pour la parallaxe solaire (soit une distance de 133 ± 13 millions de kilomètres) : la précision n'est toujours pas au rendez-vous. C'est pourquoi la méthode de Halley, qui repose sur l'observation des transits, sembla à beaucoup constituer LA solution de ce problème. Benjamin Martin, un vulgarisateur de l'époque, accessoirement fabricant d'instruments astronomiques, conclut même que « *si nous faisons le meilleur usage [des transits de 1761 et 1769], nul doute que l'astronomie atteindra, en dix ans, la perfection ultime.* »

Depuis deux endroits différents *A* et *B* sur Terre, on ne verra pas Vénus transiter au même endroit sur le disque solaire (cf. schéma ci-contre) : c'est l'effet de parallaxe déjà évoqué. Bien sûr, le Soleil n'est pas non plus infiniment éloigné, et si l'on pouvait



Au même moment, les observateurs *A* et *B* observent le transit de Vénus.

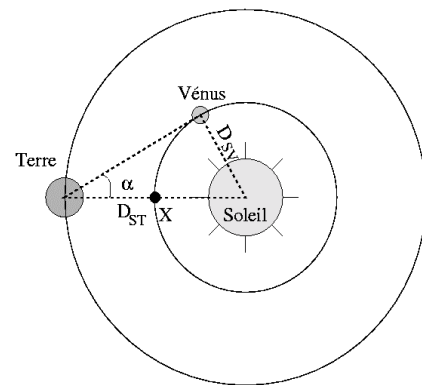


Combinaison des parallaxes.

observer les étoiles en plein jour, on verrait que si la position de Vénus semble différer d'un angle β_V , celle du Soleil devrait différer d'un angle β_S – plus petit que β_V car le Soleil est plus éloigné de la Terre que Vénus lors d'un transit. Depuis la Terre, on observera la combinaison des deux parallaxes et on verra Vénus se déplacer d'un angle $\beta = \beta_V - \beta_S$ sur le disque solaire.

Or, tous ces angles sont petits, et si on les exprime en radians, on peut écrire : $\beta_V = CD / D_{VT}$ et $\beta_S = CD / D_{ST}$ – et donc $\beta_V / \beta_S = D_{ST} / D_{VT}$ – où D_{SV} , D_{VT} et D_{ST} désignent respectivement les distances entre le Soleil et Vénus, Vénus et la Terre et entre le Soleil et la Terre, et où CD est la projection de AB sur le plan perpendiculaire à l'axe Terre-Vénus-Soleil. Cela permet d'écrire que $\beta_S = \beta (D_{ST} / D_{SV} - 1)$, puisque lors du transit $D_{ST} = D_{SV} + D_{VT}$. L'angle β est mesuré lors du transit, et le rapport D_{ST} / D_{SV} est connu : ce rapport peut être calculé en observant Vénus à sa plus grande élongation (cf. schéma ci-dessous), ou encore en appliquant la troisième loi de Kepler : β_S est donc déterminé. Notons que β_S ne coïncide pas avec la parallaxe solaire π_S , car cette dernière a pour base, non la distance CD , mais le rayon terrestre R_T : on a $\pi_S = R_T / D_{ST}$ et $\beta_S = CD / D_{ST}$, et donc $\pi_S = R_T \beta_S / CD = R_T \beta (D_{ST} / D_{SV} - 1) / CD$; CD peut facilement être calculé à partir des coordonnées géographiques des observateurs.

Ce type de mesure peut être effectué sur base de photographies, mais la méthode fut rarement mise en pratique de cette façon-là : comment coordonner des observateurs séparés de milliers de kilomètres pour qu'ils observent rigoureusement au même instant ? C'est pour cela qu'Halley basa sa méthode sur un constat différent : puisque deux observateurs séparés voient Vénus à des endroits différents, les longueurs des trajets totaux de la planète mesurés depuis ces deux stations terrestres ne seront pas égaux. Et comme mesurer la corde du trajet n'est pas simple (sauf, une fois encore, si l'on dispose de photographies), Halley proposa de mesurer plutôt la durée totale du transit : en effet, plus cette corde est longue et plus la durée du transit sera importante. Delisle généralise ce raisonnement : si le trajet est plus long, c'est qu'il commence plus tôt et se termine plus tard. Un endroit où seul le début ou la fin du phénomène est visible est donc également utilisable.



À la plus grande élongation, la mesure de l'angle α entre Vénus et le Soleil permet de déterminer facilement le rapport entre la distance Terre-Soleil D_{ST} et la distance Vénus-Soleil D_{SV} , qui vaut simplement $\sin \alpha$. Notez que X marque la position de Vénus lors d'un transit.

Évidemment, tout n'est pas aussi simple : les orbites des deux planètes sont elliptiques et non circulaires, il faut connaître avec une bonne précision les coordonnées géographiques des lieux où sont effectuées les observations, et la rotation de la Terre vient modifier les instants de contact et la vitesse apparente de Vénus.

Mais la mauvaise connaissance des longitudes, conjuguée à l'effet de goutte noire, contrecarrèrent les projets des astronomes. On utilisa donc à la fois les observations de Mars (à l'opposition) et de Vénus (hors transit) pour déterminer l'UA de la manière évoquée plus haut. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les résultats furent plutôt mitigés, mais la détermination de l'UA par cette méthode s'affina sensiblement avec l'amélioration de la qualité des instruments astronomiques. On réfléchit en outre à de meilleures cibles : certains astéroïdes

frôlent la Terre, et peuvent s'approcher bien plus près de nous que Vénus ou Mars : leur parallaxe, plus grande, est donc plus facilement mesurable. C'est ainsi que divers astéroïdes furent utilisés – notamment Éros en 1930 et 1931. Les résultats furent bien meilleurs que ceux obtenus au départ des transits de Vénus... Vénus battu par Éros, quelle ironie !

Plus récemment, on a fait appel à une nouvelle technique, qui utilise le radar : des ondes radio envoyées vers Mars ou Vénus (encore...) se réfléchissent sur la surface de ces planètes et reviennent vers la Terre : la mesure du temps d'aller retour, conjuguée à la connaissance de la vitesse de ces ondes (300 000 km/s), permet de déduire immédiatement la distance à l'objet considéré.

Aujourd'hui, on ne mesure plus l'UA, on la *définit*. En effet, l'orbite de la Terre varie constamment sous l'action perturbatrice des autres planètes. On a donc décidé en 1976 de définir l'UA comme la distance moyenne entre la Terre et le Soleil en l'absence des autres planètes. Elle vaut 149 597 870 kilomètres, ce qui correspond à une parallaxe π_5 de 8,79415 secondes d'arc.

Yaël Nazé (IAGL)

L'auteur tient à remercier les Drs Michel Bougard et Maurice Gabriel pour leur aide dans la clarification de certains points historiques (Antiquité et Kepler), ainsi que son cousin Cédric pour son aide bibliographique.

Références

Livres

- *Six Months in Ascension*, Mrs. Isobel Gill, 1878, disponible sur le site <http://www.bweaver.nom.sh/gill/gill.htm>
- *L'œuvre astronomique de Gassendi*, Pierre Humbert, Hermann, Paris, 1936.
- *The transits of Venus*, Harry Woolf, Arno Press, New York, 1981.
- *Les rendez-vous de Vénus*, Jean-Pierre Luminet, Jean-Claude Lattès, 1999.
- *Vénus devant le Soleil*, livre coordonné par Arkan Simaan, coédition Adapt-Snes / Librairie Vuibert, 2003.

Articles

- *A new method of determining the parallax of the Sun, or his distance from the Earth*, Edmund Halley, 1716, Philosophical transactions, vol. XXIX, sec. R.S. N0348, p. 454 (traduit : Abridged Transactions of the Royal Society, vol. VI, p. 243, 1809), disponibles sur le site <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/HalleyParallax.html>
- *Captain Cook and the transit of Venus*, Olin J. Eggen, 1957, Astronomical Society of the Pacific Leaflets, vol. 7, p. 337, disponibles sur le site http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1957ASPL....7..337E

- *The 1769 transit of Venus observed by Velasquez from Lower California*, Iris Higbie Wilson, 1964, Astronomical Society of the Pacific Leaflets, vol. 9, p. 145, disponible sur le site http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1964ASPL....9..145W
- *Jeremiah Horrocks, the transit of Venus and the 'New Astronomy' in early 17th century England*, Allan Chapman, 1990, Quaterly Journal of the Royal Astronomical Society, vol. 31, p. 33, disponible sur le site http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1990QJRAS..31..333C
- *Transits, travels and tribulations I*, J. Donald Fernie, 1997, Scientific American, vol. 85, p. 120 ; *ibid. II*, 1997, Scientific American, vol. 85, p. 418 ; *ibid. III*, 1998, Scientific American, vol. 86, p. 123, disponible sur le site <http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/28549> ; *ibid. IV*, 1998, Scientific American, vol. 86, p. 422, disponible sur le site <http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/27742> ; *ibid. V*, 1999, Scientific American, vol. 87, p. 119, disponible sur le site <http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/26610>
- *The Naval Observatory and the American transit of Venus expeditions of 1874 and 1882*, Steven J. Dick, 2003 (chapitre 7 du livre *Sky and Ocean joined : US Naval Observatory, 1830-2000*), disponible sur le site http://www.usno.navy.mil/pao/History/ToV_Chapter_7.htm
- *The 1882 transit of Venus and the Huguenot Seminary for girls*, W.P. Koorts, 2003, Monthly Notes of the Astronomical Society of South Africa, vol. 62, p. 198, disponible sur le site <http://canopus.saao.ac.za/~wpk/tov1882/tovwell.html>
- *The 1882 transit of Venus : the British expeditions to South Africa*, W.P. Koorts, 2004, Monthly Notes of the Astronomical Society of South Africa, vol. 63, p. 34.
- *A (not so) brief history of the transits of Venus*, Daniel Hudon, février 2004, Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, vol. 98, p. 6.
- *The transits of Venus, tales from the 18th century*, William Sheehan, Sky & Telescope, février 2004, p. 47 ; *The transits of Venus, tales from the 19th century*, *ibid.*, mai 2004, p. 33.
- *The transits of Venus 2004*, Udo Backhaus, 2004, disponible sur le site <http://didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/Venusproject/TransitEngl.pdf>
- Fiches pédagogiques de l'Institut de Mécanique Céleste, disponibles sur le site <http://www.imcce.fr/vt2004/fr/educ.html>
- Numéro spécial « Transit de Vénus » de la revue l'Astronomie, vol. 118, mai 2004.