

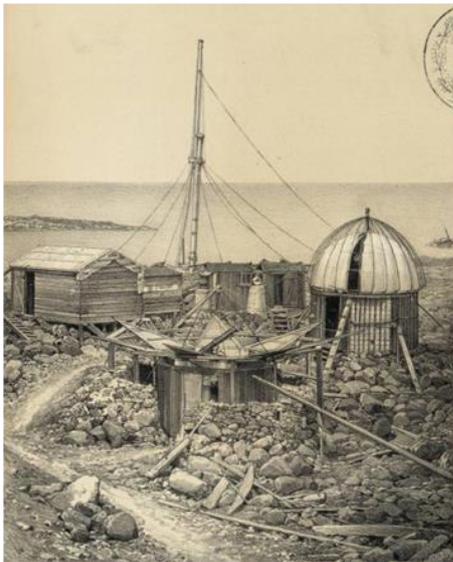
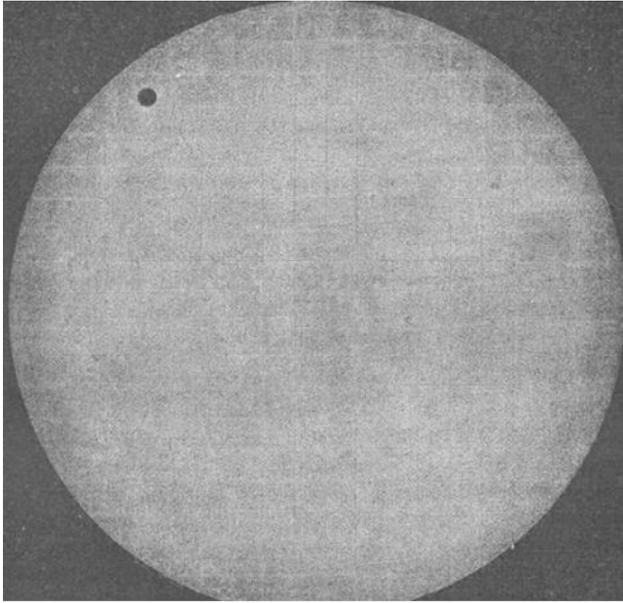
Observatoire de Paris

Diplôme d'Université
« Structuration de l'Univers »
Année 2023-2024

Présenté par Erwan Lageat

**L'observation du passage de Vénus à Saint-Paul en
1874 : la réussite d'une aventure « incroyable », la
fin d'un paradigme d'observation astronomique**

Sous la direction de Jean-Eudes Arlot



Remerciements

Sincèrement adressés

à Jean-Eudes Arlot qui a rendu possible ce travail en acceptant de le superviser,

à Jérémy Vaubillon pour avoir fléché la voie vers les DU de l'Observatoire,

à Pierre Christofari pour son écoute toujours active, ses encouragements et ses orientations,

à mes camarades du DU SU pour leur bienveillance dans l'accueil de ces recherches.

« Si les habitants de Vénus pouvaient se douter de toutes les folies que nous faisons à propos de leur planète, ils nous prendraient certainement en pitié »

W. de Fonvielle dans *Le Monde Illustré*, en date du 12 décembre 1874

« Nous sommes maintenant à la veille du deuxième transit d'une paire, après lequel il n'y en aura pas d'autre jusqu'à ce que le vingt-et-unième siècle de notre ère se soit levé sur la terre, et que les fleurs de juin soient épanouies en 2004. Lorsque la dernière saison de transit a eu lieu, le monde intellectuel se réveillait du sommeil des siècles, et cette merveilleuse activité scientifique qui a conduit à notre connaissance avancée actuelle ne faisait que commencer. Dieu seul sait quel sera l'état de la science lorsque la prochaine saison de transits arrivera. Même les enfants de nos enfants ne vivront pas assez longtemps pour participer à l'astronomie de ce jour-là ».

William Harkness, « An Address Delivered Before a Section of the American Association for the Advancement of Science », *American Association for the Advancement of Science*, 1882.

Résumé

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à l'observation du passage de Vénus devant le Soleil en 1874, et, particulièrement, à la mission menée par Ernest Mouchez à Saint-Paul.

Le phénomène, caractérisé par des paires de transits séparés par huit ans et intervenant à plus d'un siècle l'une de l'autre, a été à la fois prévu et expliqué grâce à la nouvelle mécanique céleste de Kepler. L'importance de ces transits a été reconnue à la fin du XVIII^e siècle quand Edmond Halley proposa une méthode pour en déduire la parallaxe solaire, un paramètre crucial pour le calcul de la distance Terre-Soleil.

Malgré des observations jugées décevantes en 1761 et 1769, l'arrivée du transit de 1874 a été perçue comme une opportunité majeure pour la science, en particulier pour la France, qui cherchait à réaffirmer son prestige après sa défaite de 1870 face à la Prusse. Les préparatifs ont été minutieusement orchestrés par l'Académie des Sciences, mobilisant les nouvelles techniques du XIX^e siècle - notamment la photographie, au service d'une détermination définitive de la parallaxe solaire.

La mission sur l'île de Saint-Paul, dirigée par Ernest Mouchez, illustre les défis logistiques et les conditions extrêmes auxquelles les scientifiques de l'époque ont dû faire face. Grâce à sa détermination et quelques « heureux hasards », Mouchez est parvenu à observer le passage dans sa quasi-intégralité. Compte tenu des circonstances, sa mission fut un indéniable succès. Sa contribution au progrès scientifique fut néanmoins limitée : la visibilité médiocre sur la majorité des autres stations, la variabilité des appréciations selon les observateurs, des phénomènes optiques parasites liés à des lentilles paradoxalement trop performantes compliquèrent grandement l'agrégation et la réduction des résultats. La photographie, cette nouvelle technologie qui aurait dû objectivement déterminer les instants de contact entre Vénus et le Soleil, ne tint pas ses promesses.

Le transit de Vénus de 1874 a marqué un tournant dans l'approche scientifique de la mesure des distances célestes, ouvrant la voie à l'utilisation de méthodes alternatives telles que l'observation de Mars, des astéroïdes, et l'application de la vitesse de la lumière.

Table des matières

Résumé	5
Introduction et axes de recherches	8
Le phénomène, ses enjeux et la parallaxe solaire avant 1874	10
Que voit-on ?	10
Des phénomènes invisibles avant Kepler	11
Comment s'explique ce cycle ?	12
Pourquoi des paires ? Pourquoi observe-t-on un second passage 8 ans après le premier ?	13
Les passages devant le Soleil ; une opportunité de calculer la distance Terre-Soleil	14
Une mise en œuvre enthousiaste au XVIII ^e siècle, mais... ..	18
Remise en cause d'une valeur admise pour π_0	20
La préparation de l'événement de 1874 en France : enjeux politiques et débats scientifiques	23
Le passage de 1874 : intérêt relatif, puis cause nationale	23
La Commission pour le passage de Vénus	25
Premières avancées avant 1870	25
Protagonistes de la Commission et principaux points de discussion	26
Les décisions scientifiques et instrumentales structurantes	28
Qui est Mouchez ?	32
Une « singulière journée » : l'observation du passage à Saint-Paul	35
Les préparatifs du départ	35
La coordination avec la Marine	35
L'équipage	36
Derniers calculs avant le départ	37
De Marseille à Saint-Paul	38
Une colonie scientifique temporaire	41
Se préparer en dépit des conditions	44
Le passage de Vénus dans l'œil du « cyclone »	47
« Miraculeux » ou « merveilleux » ?	52
La fin annoncée de la méthode de Halley ?	53
Épilogue	56
Bibliographie	59

Annexes	61
Le calcul simplifié de la parallaxe solaire.....	61
Ordre du jour pour le 9 décembre	69
Transcription d'une lettre de Victor Puiseux à Mouchez, du 1 ^{er} mars 1874.....	73
Des photographies de Vénus devant le Soleil au XIXème siècle.....	75

Introduction et axes de recherches

« Rien n'est définitif en matière de science. Les vérités expérimentales sont essentiellement instables et provisoires, et ce qu'on appelle la précision d'un chiffre n'est souvent qu'une fiction qui fait loi jusqu'au jour où elle est détrônée par une autre fiction. L'histoire des sciences d'observation prouve, hélas ! qu'on n'en a jamais fini avec un problème, que les mesures sont toujours à recommencer, que les résultats les plus probables ne sont pas nécessairement ceux qui approchent le plus de la vérité, et que le progrès peut consister à revenir sur nos pas. Les efforts des hommes pour atteindre la vérité sont longs et pénibles comme la course acharnée de l'aiguille des minutes qui doit faire douze fois le tour du cadran avant que la petite aiguille qui marque le progrès des heures n'en fasse le tour une fois. Que de force, de génie, de patience, se dépensent souvent pour reconnaître qu'on s'est trompé, que tout est à refaire ! Les astronomes surtout savent ce que représente en fatigues et en veilles la moindre modification apportée à ces nombres qu'on nomme les constantes, et qui sont pour ainsi dire les pivots de leurs formules. Sans cesse aux prises avec l'immensité, pour eux il s'agit de mesurer l'inabordable ; ils ne peuvent suppléer à l'insuffisance des moyens d'observation qu'en accumulant les mesures comme les grains de sable. Pour rectifier un chiffre, il faut souvent des milliers et des milliers d'observations péniblement amassées. Pour avoir le droit d'ajouter ou de retrancher une fraction de seconde, on organise des expéditions qui coûtent des centaines de mille francs, et des observateurs exercés s'en vont affronter des climats meurtriers d'où tous ne reviennent pas toujours. L'année 1874 comptera au nombre de celles qui font époque dans l'histoire de l'astronomie par les grandes expéditions qui se préparent et qui n'ont d'autre but que d'observer le passage de Vénus sur le soleil au mois de décembre prochain ; on espère ainsi savoir une bonne fois si décidément la parallaxe du soleil est de 8 secondes 8 dixièmes, ou s'il faut la supposer égale à 8 secondes 9 dixièmes¹ ».

Seulement trois passages se sont déroulés entre l'annonce du phénomène par Kepler et les préparatifs des expéditions de 1874 – dont le premier fut observé par le seul Horrocks en 1639. La singularité du passage de Vénus ne tient pas qu'à sa rareté : il offre, depuis la fin du XVII^e siècle et les travaux de Halley, un point d'appui pour la détermination de la parallaxe solaire. Nous verrons dans quelles conditions il est possible d'observer un transit, ce que l'on y observe, son lien avec le calcul de la distance Terre – Soleil, et en quoi le suivi d'un passage depuis des points éloignés permettent d'établir cette fameuse parallaxe solaire. Nous verrons aussi que la mise en œuvre de la méthode de Halley en 1761 et 1769 a produit des résultats décevants, et que l'incertitude sur la valeur de la parallaxe s'est maintenue – voire étendue, pendant le XIX^e siècle : nous aborderons ainsi les différentes approches qui ont conduit à une remise en cause de la valeur issue des observations du XVIII^e siècle.

Le passage annoncé de 1874 se présente donc comme une occasion unique de démontrer les progrès techniques de ce siècle sur le précédent et d'arrêter un fois pour toute la valeur de la parallaxe solaire. Cette ambition scientifique s'est doublée, en France, d'un enjeu politique : le succès de missions françaises servirait le prestige national, abîmé par la défaite militaire de 1870. Nous pourrions ainsi suivre les débats de la Commission pour le Passage de Vénus qui devaient assurer aux expéditions

¹ Radau R., « Le passage de Vénus du 9 décembre 1874 », *La Revue des Deux Mondes*, 15 janvier 1875.

françaises les plus grandes chances de réussite ; débats qui ont révélé des oppositions à ce type d'entreprise au long cours et des différences d'appréciation sur les promesses de la technique naissante de la photographie appliquée à l'astronomie. La Commission, soutenue par la Marine, n'en a pas moins réussi à planifier et équiper six missions d'observation. L'une d'entre elles se déroulera à Saint-Paul, au milieu de l'océan Indien austral, dans des conditions annoncées comme difficiles ; son commandement est confié au capitaine de vaisseau Ernest Mouchez, un officier de marine passionné d'astronomie.

En partant pour Saint-Paul en juillet 1874, Mouchez est conscient que ses chances d'y observer le passage sont faibles – il les estime à moins de dix pour cent. Nous le verrons affronter les éléments à chaque étape de sa mission : depuis un débarquement presque impossible jusqu'à un suivi de Vénus dans l'œil d'une « cyclone ». Une chance remarquable lui donne, en effet, l'occasion d'observer le transit dans des conditions encore inespérées quelques heures auparavant ; tout cela pour constater que la « trop bonne » qualité des lunettes astronomiques, rendant visible l'atmosphère de Vénus, empêche une détermination suffisamment précise des instants de contact entre les deux astres. Une aventure qui semblait réussie en tout point se révèle ainsi finalement scientifiquement décevante. Beaucoup moins cependant que la majorité des autres missions, françaises ou étrangères, ailleurs dans le monde.

La détermination de la parallaxe par la méthode de Halley requiert la confrontation entre des observations éloignées. Trop peu de données comparables sont recueillies par l'Académie des Sciences, qu'il s'agisse de relevés d'observations ou de photographies. Une éventuelle collaboration internationale aurait permis de contourner cet obstacle : elle se révéla quasiment impossible (pour l'analyse du passage de 1874, du moins) en raison de différences instrumentales, de l'absence de planification en amont et d'une défiance envers les résultats obtenus par d'autres nations... Il a fallu plus de quinze années pour que la réduction des mesures de 1874, associées à celles de 1882, fournisse une valeur robuste de la parallaxe solaire.

Décembre 1874 et le premier passage de Vénus du XIX^e siècle marquent le sommet de l'enthousiasme pour l'observation des transits. Les expéditions au long cours ont été décidées et entreprises dans la certitude d'une supériorité des techniques du XIX^e siècle sur celles du siècle précédent ; l'absence de résultats immédiats provoque une déception et annonce, peut-être, la fin d'une vision du « ciel qui commence au-delà des mers² ». L'astrophysique émerge et le savoir astronomique va de plus en plus s'appuyer sur les sciences du laboratoire, notamment des études sur la lumière, sa vitesse et ses spectres.

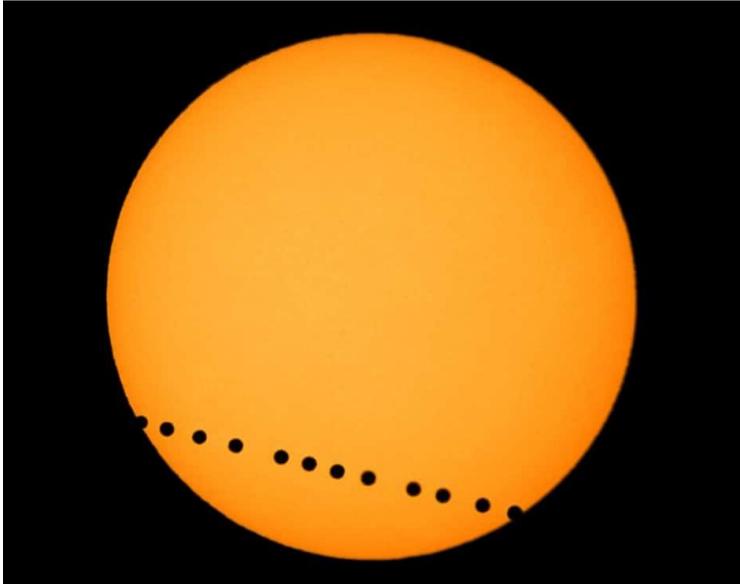
1874 bouscule également la carrière de Mouchez, qui s'éloigne de la Marine et de l'hydrographie pour s'ancrer à Paris dans le premier cercle des scientifiques : l'Académie des Sciences dès 1875, puis l'Observatoire de Paris dont il prend la direction en 1878. Son grand œuvre y sera la Carte du ciel qui consacra, quinze ans après Saint-Paul, la photographie et la collaboration internationale comme outils essentiels de la pratique astronomique.

² Blachère C., *Le ciel commence au-delà des mers. Savoirs et pratiques astronomiques et expéditions extra-européennes au XVIII^e siècle*, thèse de doctorat, Université du Littoral - Côte d'Opale, 2021.

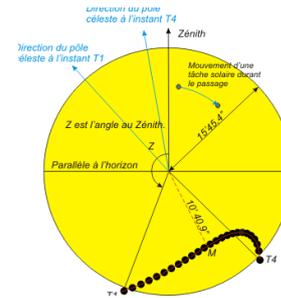
Le phénomène, ses enjeux et la parallaxe solaire avant 1874

Que voit-on ?

Un passage désigne une occultation partielle du Soleil par Vénus. Si l'observateur se trouve dans la zone de visibilité et si les conditions d'observations atmosphériques le permettent (et si son instrument est muni d'une monture équatoriale qui compense le mouvement de rotation de la Terre et le déplacement du Soleil), il suivra le transit du disque noir de Vénus le long d'une corde qui traverse la surface du Soleil.



Crédits : futura-sciences.com

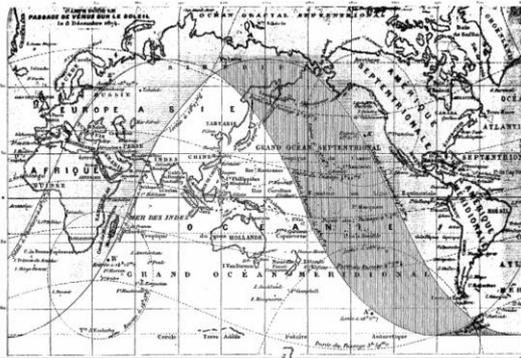


Crédit : Arlot *et al.*, *Le passage de Vénus*

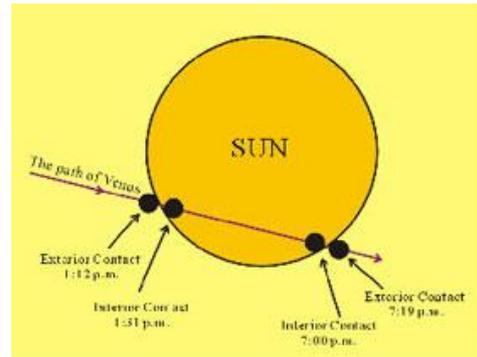
Il convient de noter que l'aspect du transit serait différent pour un observateur dont l'instrument ne compenserait pas la rotation de la Terre – une lunette munie d'une monture horizontale, par exemple. La course apparente de Vénus sur le Soleil prendrait alors une allure plus serpentine, avec un coude brusque peu avant le troisième contact.

Un passage est défini par :

- une date
- une zone de visibilité (partielle ou totale)
- les heures des différents contacts pour un lieu donné :
 - C1 : premier contact externe (*external ingress*) : le disque de Vénus est tangent extérieurement au disque du Soleil. La planète est encore invisible depuis la Terre : elle s'apprête à « mordre » le disque solaire ;
 - C2 : premier contact interne (*internal ingress*) : la planète a intégralement pénétré sur le disque solaire et lui est intérieurement tangente ;
 - C3 : second contact interne (*internal egress*) : dernier moment où le disque de Vénus apparaît entièrement sur le Soleil (tangent intérieurement) ;
 - C4 : second contact externe (*external egress*) : Vénus est extérieurement tangente au disque solaire et vient de disparaître aux yeux de l'observateur terrestre.



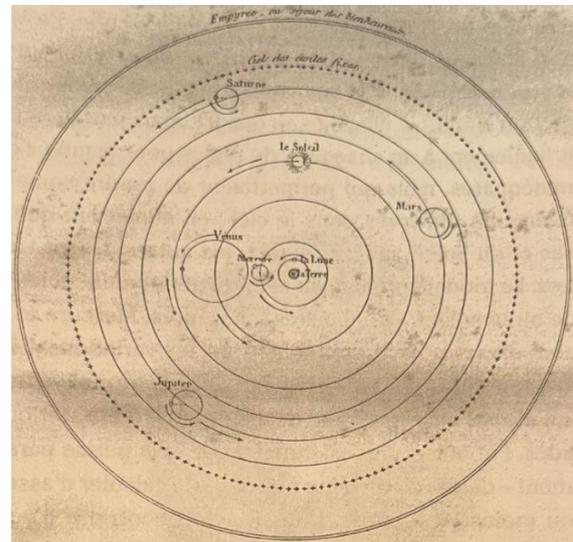
Carte de visibilité du passage de 1874, in *Astronomie Populaire*, Camille Flammarion, 1880



Les 4 points de contacts remarquables
Crédit : NASA, Sun-Earth Day 2012

Des phénomènes invisibles avant Kepler

À l'occasion d'un transit, la Terre passe donc dans le cône de pénombre de Vénus comme elle passe dans celui de la Lune lors d'une occultation de Soleil. Une différence de taille néanmoins : ces phénomènes d'éclipses trouvaient leur explication dans le modèle géocentrique ptolémaïque. Dans ce système, Mercure et Vénus (les futures planètes « inférieures ») devaient aussi se retrouver entre la Terre et le Soleil à certains intervalles ; mais comme on considérait les planètes comme des points et non comme des sphères, il n'y avait pas de raison d'envisager qu'elles puissent être visibles pendant un transit devant le Soleil.



Le modèle géocentrique sur une gravure extraite de *Astronomie Populaire* de Camille Flammarion, 1880

On ne recherchait donc pas ces passages ; ces phénomènes étant invisibles à un observateur non préparé - au mieux pourrait-on confondre Vénus avec une tache solaire - on ne les avait jamais ni remarqués ni documentés. L'invention des passages de Vénus et de Mercure est contemporaine de l'avènement des modèles héliocentriques. Leur prédiction attendra la publication des *Tables Rudolphines* de Johannes Kepler en 1627. Il y annonce un passage de Mercure le 7 novembre 1631 et un passage de Vénus le 6 décembre de la même année. Ses calculs prédisent par ailleurs une récurrence du passage de Vénus d'environ 120 ans.

Pierre Gassendi se prépara à observer ces transits depuis Paris, d'abord Mercure, Vénus ensuite ; on peut imaginer avec quel intérêt il attendait ses événements dont personne n'avait encore été spectateur (« no such phenomena had ever greeted mortal eyes³ », écrit Harkness). Les tables de Kepler manquent encore de précision. Gassendi relève que le passage de Mercure a débuté plus tôt que prévu : « Le rusé Mercure voulait passer sans être aperçu, il était entré plus tôt qu'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

³ Harkness W., *An Address Delivered Before a Section of the American Association for the Advancement of Science*, 1882.

à personne avant moi, le 7 novembre 1631, le matin⁴ ». Quant au passage de Vénus, il a bien eu lieu « autour » de la date annoncée par Kepler, mais durant la nuit parisienne du 6 au 7 décembre ; on manqua donc ce premier rendez-vous.

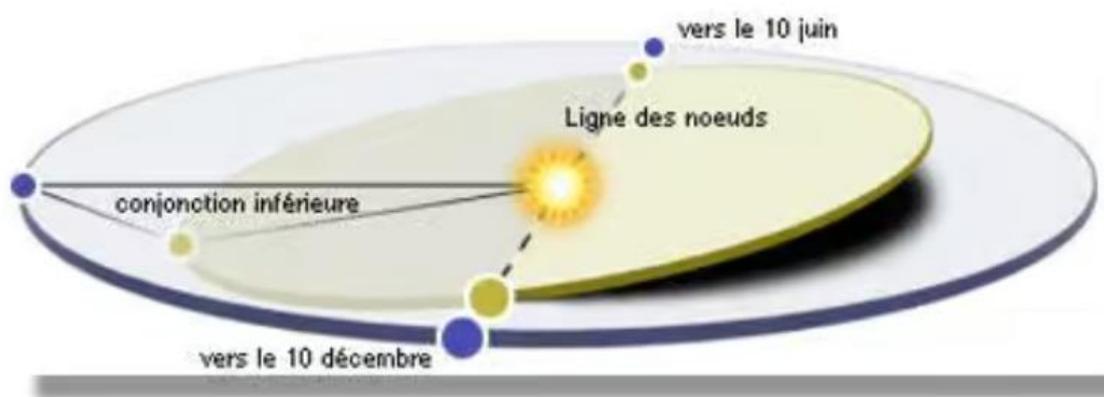
Travaillant de son côté sur la base des tables de Kepler et celles de Van Lansbergen, le jeune astronome anglais Horrocks anticipa un passage de Vénus pour décembre 1639, le 4 décembre à 3 heures de l'après-midi exactement. En observant Vénus traverser le disque solaire (ou en tout cas une partie du disque ; la légende veut qu'il ait interrompu ses observations pour respecter certains engagements religieux), il devint le premier témoin d'un passage – conjonction de son remarquable travail d'astronome et de la chance d'avoir bénéficié d'un temps clair ce 4 décembre, en Angleterre...

Par la même occasion, il démontra l'erreur de la séquence képlérienne d'un transit tous les 120 ans. Le rythme d'occultation est, en effet, plus compliqué : deux passages séparés par 8 ans, puis 121 ½ avant une nouvelle paire, puis 105 ½ ans avant la paire suivante, puis à nouveau 121 ½. Des cycles de 243 années organisent donc les rendez-vous de Vénus, de la Terre et du Soleil, ce pour encore quelques siècles.

Comment s'explique ce cycle ?

L'orbite de Vénus fait un angle ($3,39^\circ$) avec le plan de l'écliptique. L'observation d'un passage requiert la combinaison de plusieurs événements :

- l'alignement Terre-Vénus-Soleil dans cet ordre, ou conjonction inférieure ;
- l'alignement selon la ligne des nœuds (axe le long duquel se coupent les deux plans), condition pour que les deux planètes figurent dans le même plan (ou *a minima* à l'intérieur d'un segment angulaire minimum).



Crédit : futura-sciences.com

Si l'orbite de Vénus était dans l'écliptique, les passages surviendraient à chaque fois que Vénus « rattrape » la Terre dans la rotation autour du Soleil. Leur fréquence correspondrait au plus petit multiple des révolutions terrestre et vénusienne, *i.e.* 584 jours. « Si les passages de Vénus n'ont pas lieu plus souvent, c'est que le plan où se meut cette planète ne se confond pas avec le plan de

⁴ Cité dans J.E. Arlot *et al.*, *Le passage de Vénus*, EDP Sciences, 2004, p. 122-113.

l'écliptique, où se meut la terre ; tantôt elle passe plus haut que le soleil, tantôt plus bas, et reste noyée dans la lumière⁵ ».

La seconde condition impose une concordance entre la période synodique (entre deux conjonctions inférieures) et la période draconitique (entre deux passages au nœud de Vénus). Or la période draconitique est plus difficile à déterminer : elle dépend de la précession des nœuds orbitaux de Vénus. Facile à imaginer, le passage de Vénus est un phénomène difficile à prévoir avec précision (en un lieu donné notamment) et à observer.

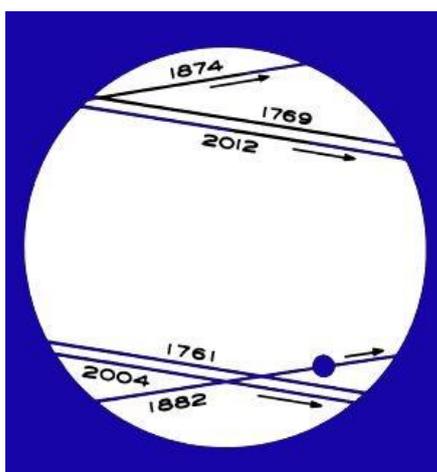
Le transit n'est visible, on le comprend, qu'au « voisinage » d'un nœud de l'orbite de Vénus. Ce voisinage peut être défini comme une distance angulaire maximale de la Terre au Soleil et vaut :

- 37' à l'approche du nœud ascendant de Vénus – pour les passages de décembre ;
- 41' à l'approche du nœud descendant – pour les passages de juin.

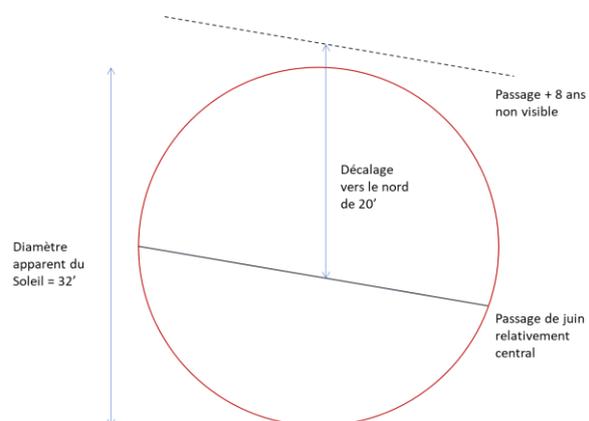
L'ensemble de ces contraintes définit le cycle de 243 ans et la récurrence de paires de transit séparées de 121 ½ ou 105 ½ années.

Pourquoi des paires ? Pourquoi observe-t-on un second passage 8 ans après le premier ?

Lorsque Vénus effectue 13 révolutions autour du Soleil (2 921 jours), la Terre en effectue presque exactement 8 (soit 2 922 jours). La trajectoire de Vénus à travers le Soleil n'est pas la même lors des deux passages d'une paire. Pour une paire de passages en juin, la trajectoire du second se situe à environ vingt minutes au nord de celle-ci, tandis que pour une paire de passages en décembre, la trajectoire du second est à environ vingt-cinq minutes au sud de celle du premier. À condition que le premier passage n'ait pas été trop central – ce qui est le cas dans les cycles récents -, le décalage entre les deux trajectoires n'excède pas le diamètre apparent du Soleil de 32 minutes environ ; le second passage est alors visible, soit plus au sud, soit plus au nord, sur la photosphère.



4 passages par cycle de 243 ans : les passages de Vénus depuis le XVIIIe siècle. (Crédit : cosmovisions.com)



2 passages par cycle de 243 ans : le deuxième rendez-vous est « manqué » (Schéma E. Lagéat)

⁵ Radau R., « Le passage de Vénus du 9 décembre 1874 », *Revue des Deux Mondes*, 15 janvier 1874.

Les passages devant le Soleil ; une opportunité de calculer la distance Terre-Soleil

« Que le ciel favorise leurs observations par le plus beau temps ! Et quand ils auront atteint le but et déterminé de leur mieux notre distance au Soleil, qu'ils veillent bien se souvenir que c'est un Anglais qui a eu le premier cette heureuse idée⁶ »

La dernière loi de Kepler, $\frac{a^3}{T^2} = cte$, où a représente le demi grand axe de l'ellipse orbitale d'une planète et T sa période de révolution autour du Soleil, nous donne les distances relatives des objets du système solaire : il suffit en effet de connaître les périodes de révolution de deux planètes pour établir le rapport entre leur demi grand axes et, partant, celui de leurs distances respectives au Soleil. On connaissait donc, dès le XVII^e siècle, l'éloignement des planètes au Soleil... ramené à la distance Terre-Soleil – ou Unité Astronomique.

La connaissance d'une distance (en valeur absolue) permettrait d'étalonner le système solaire, d'en donner la métrique. Cette Unité Astronomique servirait ensuite à établir, grâce à la parallaxe annuelle, la distance d'étoiles en dehors du système solaire. Déterminer la distance Terre - Soleil revient ainsi à fournir « la grande donnée fondamentale de l'astronomie, l'unité d'espace, dont toute erreur d'estimation est multipliée et répétée de mille façons différentes, tant dans le système planétaire que dans le système sidéral⁷ » ; ou « la base de toutes les mesures astronomiques. Qu'elle soit fautive, tous les chiffres donnés pour la mesure des distances des planètes, des comètes et des étoiles sont erronés eux-mêmes. Qu'elle soit exacte, et nous avons en main le mètre du système du monde et de toutes les évaluations des distances célestes⁸ ». Sa détermination est, en 1857, encore appelée par Airy « le problème le plus noble de l'astronomie ».

Lors d'une expédition à l'île de Sainte-Hélène, Edmund Halley put observer, le 7 novembre 1677, un passage de Mercure devant le Soleil. Il fut frappé par l'apparente facilité avec laquelle on pouvait observer le début et la fin du phénomène et eut alors l'idée d'utiliser les passages des planètes inférieures afin de mesurer avec finesse la parallaxe solaire, π_0 . La détermination des parallaxes – et les calculs de trigonométrie qui suivaient -, était alors vue comme la méthode la plus fiable pour établir les distances.

La parallaxe est la différence de direction d'un astre selon le lieu d'où l'on l'observe qui, grâce à la triangulation, nous donne sa distance. A partir de là, on définit la parallaxe horizontale qui est le maximum de parallaxe observée depuis la Terre ; **c'est donc l'angle sous lequel on voit le rayon terrestre depuis l'astre concerné.**

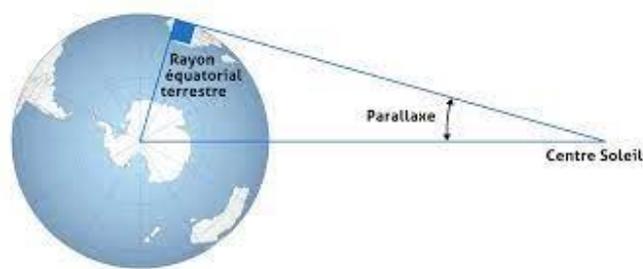


Figure IMCCE : <https://asteroides.imcce.fr/parallaxe.html>

⁶ Halley E., « Méthode singulière pour déterminer sûrement la parallaxe du Soleil ou sa distance à la Terre par les observations de Vénus dans le Soleil », *Royal Society*, 1816.

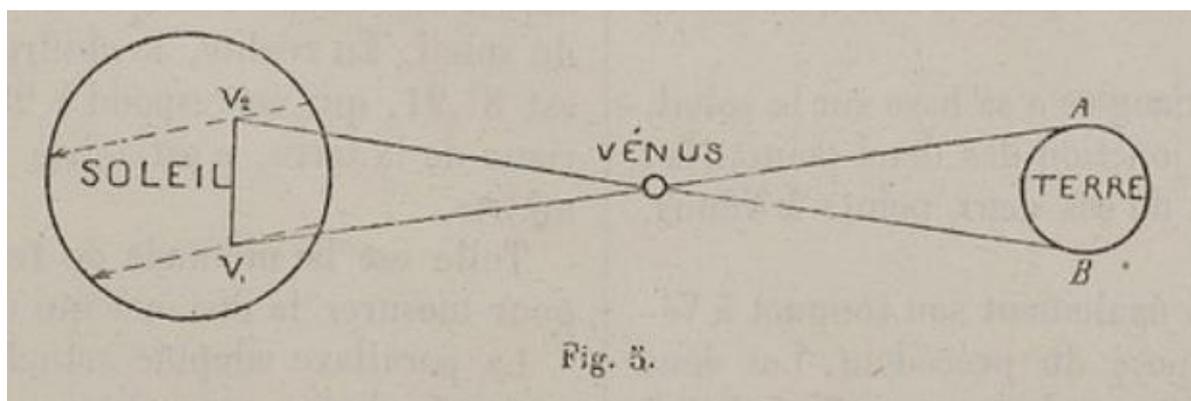
⁷ Clerke A., *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century*, 1885, p. 227.

⁸ Flammarion C., *La Nature*, n° 77, novembre 1874.

À l'époque où Halley observe le passage de Mercure, on a déjà essayé d'utiliser la détermination de la parallaxe de Mars pour en déduire celle du Soleil ; en 1672, l'Académie des Sciences de Paris envoya Richer à Cayenne observer Mars en opposition (au plus proche de la Terre). Ses relevés, comparés à ceux de Cassini à Paris, donnèrent une valeur de 9,5'' pour π_0 . Flamsteed, de son côté, l'estimait à 10'', et Picard, quant à lui, dérivait des mesures de Richer et Cassini une parallaxe de 20''.

De l'observation à la réduction des mesures, toute l'entreprise était fragilisée par les incertitudes et les erreurs, comme le décrit Jean-Dominique Cassini : « Les tentatives que l'on avoit faites jusqu'alors, les résultats qu'on en avoit obtenus, suffisoient pour faire connoître que la parallaxe du Soleil étoit une quantité extrêmement petite, & presque insensible aux observations, dont les erreurs mêmes pouvoient la plupart du temps surpasser cette quantité & l'anéantir, ce qui la rendoit extrêmement difficile à déterminer »⁹.

Dans l'observation d'un passage de Vénus, la parallaxe surgit de deux observations différentes depuis deux lieux différents sur la Terre. Deux observateurs situés à des latitudes terrestres différentes vont voir la projection de Vénus sur des cordes différentes ; ce phénomène est représenté sur le schéma de Camille Flammarion ci-dessous, qui exagère volontairement l'écart angulaire entre les deux cordes. Cet écart sera d'autant plus grand, et donc plus facile à mesurer, que la distance sur Terre entre les deux observateurs sera importante.



Camille Flammarion, "Le prochain passage de Vénus et la mesure des distances inaccessibles",
La Nature, t. II, n° 77, 21 novembre 1874

Dans cette configuration, la clé du calcul de la parallaxe est la détermination de la distance entre les deux centres apparents de Vénus. « La mesure de cette distance, exprimée en rayon solaire, permet de calculer la parallaxe moyenne équatoriale du Soleil¹⁰ ».

Halley conçoit une méthode pour un calcul fiable de π_0 à la fin du xvii^e siècle et la communique devant l'assemblée de la Royal Society en 1716. Son approche promet de contourner un certain nombre des problèmes rencontrés par les astronomes : il propose de mesurer des durées plutôt que des angles, un geste *a priori* moins technique ; plus précisément, il s'agit de chronométrer le temps écoulé entre les

⁹ Cassini J.-D., *Histoire abrégée de la Parallaxe du Soleil*, 1772, cité par Camille Blachère in *Le ciel commence au-delà des mers. Savoirs et pratiques astronomiques et expéditions extra-européennes au xviii^e siècle*, op. cit.

¹⁰ Arlot et al. *Les passages de Vénus*, op. cit., p. 102

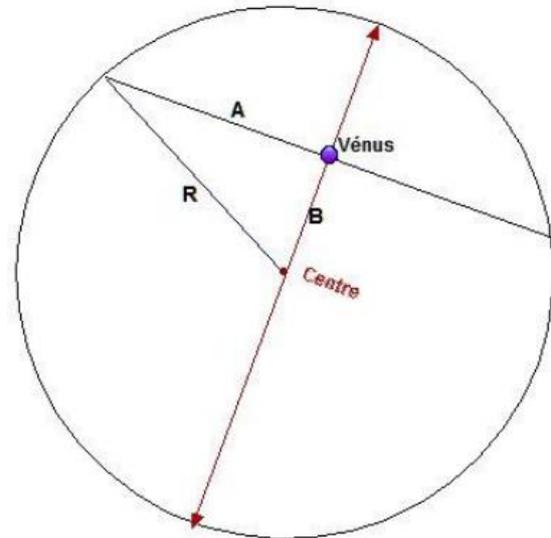
deux contacts internes (C2 et C3), depuis des sites aussi distants que possible (au sein de la zone de visibilité du passage).

Voyons comment cette mesure de durée s'articule avec la mesure de la distance (angulaire) entre les centres de Vénus projetés sur le Soleil :

La distance au centre du Soleil de chaque centre apparent (B sur le schéma) peut être exprimée en fonction de la durée du transit et du rayon apparent du Soleil (R sur le schéma).

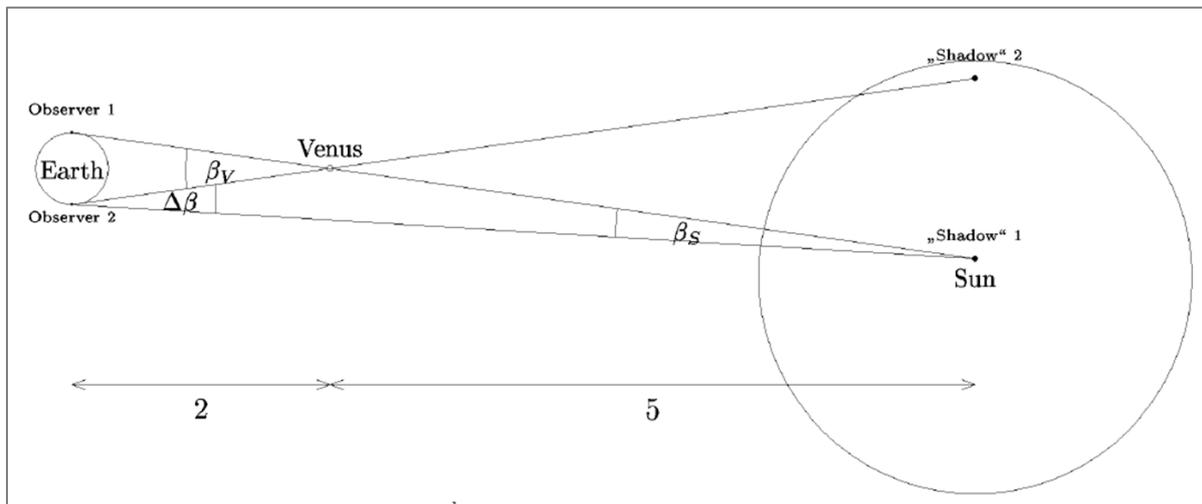
En comparant les distances B pour chaque projection de Vénus, on obtient la distance relative entre les centres de Vénus **en fonction du rayon apparent du Soleil**.

Autrement dit, on a bien converti une différence de durée en mesure de l'angle nécessaire à la poursuite du calcul de la parallaxe solaire.



Crédit : Association Narbonnaise d'Astronomie Populaire

Le schéma ci-dessous rappelle le rapport entre cette distance angulaire (l'angle $\Delta\beta$) et β_s , l'angle de la parallaxe équatoriale solaire : $\Delta\beta = \beta_v - \beta_s$



Crédit : U. Backhaus, Department of Physics, University of Essen

Si d représente la distance sur Terre entre les deux observateurs, r_T la distance de la Terre au Soleil et

r_V la distance de Vénus au Soleil, alors : $\beta_s = \frac{d}{r_T}$ et $\beta_v = \frac{d}{r_T - r_V}$

Donc $\Delta\beta = \beta_s \frac{r_V}{r_T - r_V}$ et $\beta_s = \Delta\beta \left[\frac{r_T}{r_V} - 1 \right]$

Par les lois de Kepler, on connaît le rapport entre r_T et r_V . De la distance angulaire $\Delta\beta$ donnée par la différence des durées de transit, on dérive donc bien l'angle de la parallaxe. (C'est vrai pour ce schéma ; dans la réalité, le calcul donne l'angle sous lequel on voit la distance entre les observateurs depuis le Soleil. Une série d'étapes supplémentaires, impliquant les coordonnées sphériques des lieux d'observations, est nécessaire pour obtenir l'angle sous lequel on voit le diamètre terrestre depuis le Soleil, i.e. π_0). L'ensemble du calcul « simplifié » de la parallaxe est proposé dans les annexes.

On le dit « simplifié » parce que la détermination de π_0 s'avère en réalité très complexe : elle fait intervenir le mouvement de Vénus autour du Soleil, celui de la Terre autour du Soleil et celui de la Terre autour de son axe (une séquence simplifiée des étapes du calcul est disponible dans les Annexes). Voici la liste des complications qui apparaissent si l'on veut faire une détermination rigoureuse :

- en raison des perturbations mutuelles, les orbites des planètes ne suivent pas les lois de Kepler (valables uniquement pour deux corps) mais des trajectoires *plus complexes* ;
- ce n'est pas la Terre qui a une orbite quasi-elliptique autour du Soleil, mais le *barycentre du système Terre-Lune* ;
- suite au mouvement de l'axe de rotation de la Terre (précession et nutation), l'origine du repère équatorial *n'est pas fixe* dans le temps ;
- la lumière se propageant avec une vitesse finie, les positions du Soleil et de Vénus à un instant t *ne sont pas des positions géométriques*, mais celles des deux corps au instants $t - t_p$, t_p représentant le temps mis par la lumière pour parcourir la distance entre chaque corps et la Terre. Comme ces distances ne sont pas supposées connues, il convient de réitérer les calculs pour en tenir compte¹¹.

Halley comprenait bien la difficulté des calculs. Il juge néanmoins la méthode suffisamment prometteuse pour annoncer qu'une mesure de l'intervalle entre les contacts à 2 secondes près conduirait à une précision de π_0 à 1/500^e près. Il vante la simplicité et la fiabilité attendue des observations, qui permettront de dépasser les difficultés recensées lors de dernière détermination de la parallaxe de Mars. D'où lui vient cette confiance publiquement affichée ?

Il a eu la chance d'observer un passage de Mercure dans d'excellentes conditions atmosphériques, avec un matériel de qualité, si bien qu'il a « pu saisir en toute rigueur l'instant où Mercure, pénétrant sur le disque solaire, est apparu à l'intérieur de celui-ci, juste en contact avec le limbe ». À la suite de cela, « [il a] pu établir de façon certaine la durée au cours de laquelle Mercure est apparu tout entier à l'intérieur du disque du Soleil¹² ». Il recommande néanmoins d'utiliser les passages de Vénus plutôt que de Mercure, la parallaxe de Vénus « [étant] environ quatre fois plus grande que celle du Soleil, elle produira des écarts tout à fait perceptibles entre les diverses durées de son parcours à travers le Soleil, si on l'observe depuis différents endroits de notre Terre ». Son expérience le rend donc confiant sur la fiabilité de la mesure de durées par opposition à celle d'angles, empiriquement plus difficiles à

¹¹ Arlot et al. *Les passages de Vénus*, op. cit., p. 122-113.

¹² Halley E., « Méthode singulière pour déterminer sûrement la parallaxe du Soleil ou sa distance à la Terre par les observations de Vénus dans le Soleil », *Royal Society*, 1816 p. 456-457, cité par C. Blachère.

déterminer : « Il suffit, après avoir réglé correctement les horloges sur les mouvements célestes, de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'entrée totale de Vénus à l'intérieur du disque solaire jusqu'au début de sa sortie hors de ce disque¹³ ». Fiable, donc, et accessible : si la mesure d'angles – pour la détermination de la parallaxe de Mars par exemple -, exige l'expérience et le savoir-faire d'un astronome professionnel, l'observation d'un passage requiert, selon lui, « tout juste de la rigueur et du soin avec un bagage modéré en astronomie »¹⁴.

La démarche n'est néanmoins pas sans risque : afin d'observer les deux contacts internes, il faut bénéficier d'une fenêtre de visibilité de plusieurs heures – jusqu'à 8 heures pour les transits les plus longs -. Elle suppose par ailleurs que les horloges puissent fournir la précision requise de la mesure à 2 secondes près.

À l'époque où Halley formule ses recommandations, les instruments n'ont pas encore démontré une telle précision. Mais qu'importe, après tout : il travaille pour ses successeurs à qui Vénus a donné rendez-vous en 1761 et 1769 : « Ma communication est particulièrement destinée aux plus jeunes de nos astronomes qui, nés plus tard, auront peut-être la chance de faire les observations dont je parle ; puissé-je leur ouvrir la voie qui leur permettra de calculer avec rigueur la distance immense qui nous sépare du Soleil, à un 500^e près¹⁵ ». Les sociétés savantes de l'Europe entière – Angleterre, Allemagne, Suède, Russie, France...- , mobilisèrent leurs astronomes en 1761, puis à nouveau huit plus tard, pour mettre en œuvre sa méthode et mettre un terme aux incertitudes sur la valeur de la parallaxe solaire.

Une mise en œuvre enthousiaste au XVIII^e siècle, mais...

En prévision de l'événement, les tables et éphémérides furent revues, corrigées et re-précisées. L'astronome français Delisle réexamina les tables de Halley et les heures attendues de passage de Vénus aux différents points de sa zone de visibilité, ce qui le conduisit à recommander d'autres stations d'observation que celles que préconisait son brillant prédécesseur. Il proposa également une méthode alternative de calcul de la parallaxe, basée sur le relevé de l'heure d'un unique contact interne (*ingress* ou *egress*¹⁶). Sa méthode nécessitait une estimation très précise de la longitude du lieu d'observation, mais permettait une détermination même dans les situations où le passage n'aurait pas été intégralement visible pour des raisons météorologiques.

120 observateurs professionnels, répartis sur 62 sites, observèrent le passage en 1761. Les résultats des calculs utilisant leurs mesures s'étalèrent de 8,28 à 10,6 secondes d'arc – ce qui correspond à des distances Terre-Soleil comprises entre 124 et 159 millions de kilomètres. Résultats évidemment décevants pour la communauté des astronomes de l'époque. L'un d'eux, Jean-Dominique Cassini, fait part de sa déception : « Le résultat du passage de 1761 se réduisit donc, j'ose le dire, à nous rendre plus indécis qu'auparavant.¹⁷ »

¹³ Halley E., « Méthode singulière pour déterminer sûrement la parallaxe du Soleil ou sa distance à la Terre par les observations de Vénus dans le Soleil », Royal Society, 1816, in Arlot et al., *Le Passage de Vénus*.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ Voir nomenclature des contacts, p.10

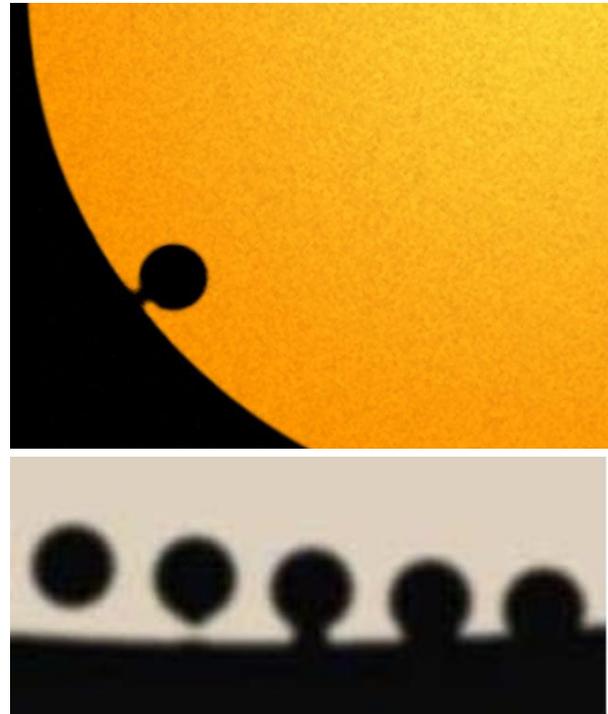
¹⁷ Aubin, David, « *Un passage de Vénus en politique* », *La Recherche*, Hors-Série n°15, avril 2004

La méthode de Delisle allait en faire les frais ; en 1769, on s'accorda pour privilégier l'approche de Halley, jugée beaucoup plus fiable après ce premier retour d'expérience. Les préparatifs furent encore plus minutieux, les résultats meilleurs, mais toujours jugés insatisfaisants : la réduction des différentes observations fournit encore une substantielle marge d'erreur, avec une parallaxe variant de 8,43 à 8,85 secondes d'arc.

La méthode elle-même n'était pas mise en cause. Il s'avère que l'identification d'un point de contact est rendue difficile et subjective par le phénomène de la « goutte noire ». Juste après le premier contact interne, au moment où le disque noir de Vénus se détache du bord du Soleil, on observe un pont entre les deux, comme si Vénus restait « accrochée » au limbe solaire¹⁸. On doit donc distinguer :

- le contact réel, quand la goutte se forme,
- le contact apparent, quand l'élongation de la planète se brise.

En 1769, les différences d'appréciation entre les deux varient considérablement d'un instrument à l'autre, alors même qu'ils ont été avertis du phénomène par les expériences de 1761 : 24'' pour Wales (Hudson Bay), 32'' pour Cook et 48'' pour Green (à Tahiti).



Le manque de précision longitudinale et les limites des instruments s'ajoutèrent aux difficultés engendrées par la goutte noire. Les expériences du XVIII^e siècle ont également été pénalisées par des facteurs qui n'avaient pas été anticipés, comme les variations induites par la personnalité et la physiologie de l'observateur.

De Halley à Cook et de Delisle à Le Gentil, un demi-siècle d'astronomie a été marqué par les promesses des passages de Vénus et leurs enseignements sur les dimensions réelles du système solaire. Les résultats ne se sont pas naturellement imposés comme on s'y attendait, mais la marge d'incertitude a été réduite. En 1824, l'astronome allemand Encke entreprit une discussion approfondie de tous les matériaux relatifs au passage de 1769 ; il crut pouvoir fixer définitivement la valeur de la parallaxe solaire à 8'',57 et ce nombre passa dans tous les traités d'astronomie - elle s'accordait *fortuitement*

¹⁸ Charles A., « Sur le phénomène dit de la goutte noire et son influence sur l'observation du passage de Vénus », *Journal de physique théorique*, 1877. Quelques années après cette observation, il précisera ses conclusions : « Ce que l'on a appelé la goutte noire, le pont ou ligament noir, est, non pas un fait accidentel, mais bien un fait nécessaire, caractéristique du phénomène lui-même. Il n'est dû ni aux défauts de l'objectif, ni à la mauvaise mise au point de l'oculaire. Avec une source lumineuse suffisamment intense, un pont se produit toujours au moment du contact géométrique, quelque parfaite que soit la lunette employée ; mais les dimensions angulaires de ce pont sont inversement proportionnelles au diamètre de l'objectif, et, dès que ce diamètre atteint 5 ou 6 pouces, le pont devient pour ainsi dire insensible ».

avec celle que Laplace et Burg avaient obtenue par une voie tout à fait différente, en se fondant sur une certaine inégalité du mouvement de la lune¹⁹. L'affaire semblait entendue.

La sérénité, sur ce point, n'a duré que trente ans. A partir du milieu du XIX^e siècle, de nouvelles méthodes de calcul apportèrent des résultats qui divergeaient de la valeur de référence de Encke. Le passage de Vénus n'est peut-être pas le « juge de paix » sur la question de la parallaxe solaire.

Remise en cause d'une valeur admise pour π_0

Le consensus est perturbé en 1854 par une annonce de l'astronome allemand Hansen : les mouvements observés de la Lune ne pouvaient être expliqués qu'à condition de rapprocher considérablement le Soleil de la Terre, par rapport à la distance établie par Encke (153,3 millions de kilomètres pour une parallaxe solaire de 8,5776"). À partir de cette date, le faisceau de présomptions en faveur d'une parallaxe supérieure, et donc d'une réduction de l'unité astronomique (plus la parallaxe est grande, plus le Soleil est proche de nous), intègre de nouveaux éléments obtenus par des méthodes indépendantes.

Méthode gravitationnelle

La note d'alarme de Hansen en 1854 a été reprise par Leverrier en 1858. Il a constaté qu'une oscillation mensuelle apparente du Soleil, qui reflète un mouvement réel de la Terre autour de son centre de gravité commun avec la Lune, et dont l'ampleur dépend uniquement de la masse de la Lune et de la distance du Soleil, nécessitait une diminution de la valeur admise de cette distance de plus de six millions de kilomètres. De ces méthodes analytiques, qui s'appuient sur la comparaison des observations astronomiques avec les lois de la gravitation, se déduisent des valeurs de parallaxe supérieures : de 8,66 à 8,91 secondes d'arc.

Nouvelle parallaxe de Mars

En 1862, la planète Mars devait se trouver en opposition avec le Soleil, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables pour la détermination de sa parallaxe, puis qu'elle est alors deux fois moins éloignée de nous que le Soleil. Elle fut observée avec soin au cap de Bonne-Espérance et en Australie en même temps qu'en Europe, et la discussion des observations, qui fut entreprise par M. Stone et par M. Winnecke, donna pour la parallaxe solaire une valeur un peu supérieure à 8'',9.

S'appuyer sur la vitesse de la lumière

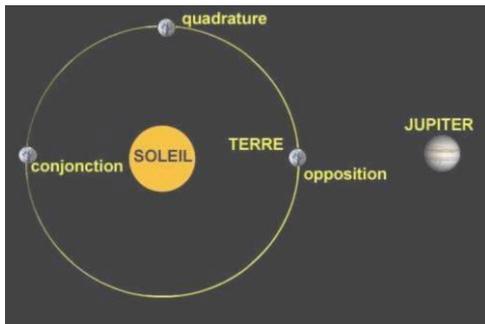
La même année, ces indices qui s'accumulent en faveur de la réduction de la distance du Soleil sont renforcées par les résultats d'une troisième approche de nature encore différente : se servir de la vitesse de la lumière pour étalonner des distances. En 1862, Foucault perfectionne la méthode du miroir rotatif et estime la vitesse de la lumière à 298 000 kilomètres par seconde. Il est intéressant de noter que les travaux de Foucault sur la lumière, complétés par les expériences de Fizeau et de Cornu quelques années plus tard, participent d'une nouvelle culture de l'astronomie et de la physique en général : centrée sur le laboratoire, elle privilégie « la mesure quantitative et l'analyse mathématique sur l'observation directe »²⁰. Cornu déclarera d'ailleurs en 1874 : « Désormais les rôles sont inversés :

¹⁹ R. Radau, Le passage de Vénus du 9 décembre 1874, *Revue des Deux Mondes*, 15 janvier 1874

²⁰ Aubin David., « L'événement astronomique du siècle ? Une histoire sociale des passages de vénus, 1874-1882 », *Cahiers François Viète*, série I – n°11-12, 2006, p. 9.

c'est la physique qui fournit à l'astronomie une constante des plus précieuses »²¹. Comment exploiter cette nouvelle constante ?

Une première méthode s'appuie sur les éclipses des satellites de Jupiter, qui avaient déjà permis à Olaus Römer d'établir que la lumière voyageait à une vitesse finie. Il s'agit de phénomènes extrêmement réguliers prévus dans des tables dès le XVII^e siècle. Très vite, pourtant, les astronomes se rendirent compte que les éclipses (de Io notamment) se produisaient en retard lorsque la Terre et Jupiter se trouvaient en conjonction, et en avance dans la phase d'opposition. Les observations et les tables de Cassini ne coïncidaient réellement qu'au moment où Jupiter et la Terre étaient en quadrature. L'écart constaté entre l'heure d'une éclipse en opposition et l'heure de la même éclipse en conjonction représente le temps qu'il faut à la lumière pour traverser l'orbite de la Terre autour du Soleil.



De là, il est possible d'en déduire la valeur θ (encore appelée « équation de la lumière » au XVIII^e siècle) qui correspond au temps de parcours de la lumière entre le Soleil et la Terre. Delambre, ayant observé des milliers d'éclipses de Io, estimait θ à 473,2 secondes. Foucault en déduit une parallaxe de 8,86''.

La seconde approche considère le phénomène de l'aberration de la lumière : il s'agit d'un déplacement apparent des étoiles dû à la vitesse de la lumière et à la vitesse de déplacement de la Terre sur son orbite. L'angle de cette parallaxe est très faible, mais il a été mesuré : il s'exprime comme le rapport entre la vitesse de la Terre et celle de la lumière. Là encore, la vitesse mesurée par Foucault permet de déduire la vitesse de la Terre et donc la taille de son orbite (*i.e.* la distance parcourue pendant un an) ; d'où l'on peut conclure toutes les dimensions de l'orbite. Les calculs donnent une parallaxe comprise entre 8'',797 et 8'',881 – en fonction de la valeur retenue pour l'angle de l'aberration.

²¹ Cornu A., « Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1874.

Méthodes trigonométriques		
Mars	Meridian observations	8".84 - 8".96
	Diurnal observations	8".60 - 8".79
Astéroïdes		8".76 - 8".88
Venus	Passage de 1761	8".49 - 10".10
	Passage de 1769	8".55 - 8".91

Méthodes gravitationnelles		
Masse de la terre		8".87 +/- 0".07
Inégalité parallactique		8".78 - 8".91
Inégalité lunaire		8".66 - 9".07

Méthodes photo-tachymétriques		
c et équation de la lumière		8".72 - 8".89
c et aberration		8".73 - 8".90

Afin de remettre ces ajustements en perspective pour le grand public, la Royal Astronomical Society a tenu à rappeler que ces incertitudes équivalant à plusieurs millions de kilomètres « ne correspondaient pas à plus de la largeur d'un cheveu perçue à 125 pieds de distance²² » ! Il n'en reste pas moins que cette incertitude sur la métrique du système solaire ne pouvait se prolonger. Le transit pourrait certainement fournir un arbitrage plus définitif : après tout, les leçons avaient été tirées des expériences du XVIII^e siècle et les technologies du XIX^e seraient sans aucun doute porteuses de progrès scientifiques.

²² « It as explained that the change in the solar parallax corresponding to that huge leap, amounted to no more than the breadth of a human hair 125 feet from the eye”, *Monthly Notices*, vol. xxiv, cité par A. Clerke, *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century*.

La préparation de l'événement de 1874 en France : enjeux politiques et débats scientifiques

« Les Français ont conclu qu'il fallait y employer des lunettes aussi grandes et aussi parfaites que possible, de 20 cm d'ouverture. L'Académie en a fait faire quatre ; mais elle ne pouvait les envoyer toutes les quatre sur l'hémisphère austral, car les résultats n'eussent pas été comparables à ceux des lunettes beaucoup plus petites des Russes. Il a donc fallu renoncer au concert européen, et entreprendre nous seuls de déterminer la parallaxe de Vénus ou du Soleil par nos quatre puissants instruments en formant deux stations au nord (Chine et Japon) et deux stations au sud, Saint Paul et Campbell. La France aura ainsi fait, pour la méthode de Halley, tout ce qui était humainement possible de faire²³ »

Le passage de 1874 : intérêt relatif, puis cause nationale

Tandis que « la valeur de Encke vacillait sur ses bases »²⁴, les Anglais ont fait du prochain passage de Vénus une priorité scientifique. Dès 1857, Sir George Airy, Astronome Royal, organisa une campagne sur plusieurs fronts en vue de maximiser les chances de réussite : obtenir des fonds et l'appui de la Marine, développer un dispositif de simulation d'un transit, entraîner les astronomes pour tenter de normaliser leurs observations, tester différentes méthodes d'enregistrement.

En France, les premières études préparatoires n'interviennent que bien plus tard : en 1866, une commission présidée par M. l'amiral Jurien de La Gravière fut chargée par le ministre de l'Instruction publique « d'indiquer les mesures qu'il y aurait à prendre pour faciliter aux astronomes français l'observation du passage de Vénus »²⁵. On envisage des reconnaissances en Indochine, sur les îles de l'océan Indien et du Pacifique, sans que rien de définitif soit décidé, puisque Le Verrier écrit l'année suivante : « Il n'est pas utile d'y revenir avant 1872 »²⁶. En 1869, le ministre renouvelle son soutien à la communauté scientifique dans une lettre au président de l'Académie des sciences : « Les astronomes se préoccupent du grand événement scientifique qui signalera l'année 1874 : le passage de Vénus sur le Soleil, que les savants français devront aller observer presque aux antipodes. Le gouvernement, de son côté, n'oublie pas qu'il est tenu de préparer tous les moyens de rendre leur dévouement moins pénible et plus profitable pour la science »²⁷.

Il interroge également l'Académie sur le choix des stations, le nombre d'observateurs et la nature des instruments nécessaires aux observations et aux recherches. En réponse, l'Académie fait savoir, dans un rapport en date du 14 mars 1870, qu'un budget de 300 000 francs est jugé « nécessaire pour l'acquisition des instruments devant équiper la petite dizaine de stations envisagées »²⁸, hors frais de transport et d'entretien des personnels.

²³ Faye Hervé, « Le prochain passage de Vénus sur le Soleil », Association française pour l'avancement des sciences, congrès de Lille, 17 octobre 1874, cité par C. Marlot in *Les passages de Vénus, op. cit.*

²⁴ Marlot C., *Les passages de Vénus, op. cit.*

²⁵ Radau R., « Le passage de Vénus du 9 décembre 1874 », *Revue des Deux Mondes*, 15 janvier 1874.

²⁶ Aubin D., « Un passage de Vénus en politique », *op. cit.*

²⁷ Lettre de Victor Duruy du 1^{er} février 1869, cité par C. Marlot, *Les passages de Vénus, op. cit.*

²⁸ Marlot C., *Les passages de Vénus, op. cit.*

La guerre éclate en juillet 1870. La chute de l'Empire, l'occupation prussienne et la Commune de Paris interrompent la planification et la préparation des missions d'observation du passage. Les travaux ne reprirent que deux ans plus tard avec la confirmation du budget et la création de la Commission pour le Passage de Vénus²⁹, sous l'égide de l'Académie des sciences. Et dans un contexte particulier : faire appel à la science pour redorer l'image de la France, écornée par la défaite de 1870. Le ministre de l'Instruction publique, Victor Duruy, ne déclarait-il pas à Le Verrier, en 1872 : « Je crois plus que jamais à la nécessité d'énergiques efforts pour accélérer le progrès scientifique. La dernière guerre a été une affaire de mécanique : la masse multipliée par la vitesse. Et si les Autrichiens avaient déjà été vaincus à Sadowa par les instituteurs prussiens, nous l'avons été, nous, par les chimistes et les physiciens de Krupp, par les mathématiciens et les géographes de De Moltke. [...] Pour la revanche, il faut des canons ou des idées »³⁰.

Ainsi les présidents successifs de la Commission, Hervé Faye, puis Jean-Baptiste Dumas, ont-ils insisté sur l'inévitable contribution française au progrès scientifique et la démonstration de sa capacité d'innovation technologique ; la participation à l'observation du passage se révélera « utile au progrès de la science, indispensable à la dignité de l'Académie, nécessaire au maintien de la France parmi les nations civilisées »³¹. Et l'ensemble de l'entreprise doit être comprise comme une aventure scientifique et une contribution au redressement de la France :

« L'Angleterre, la Russie, les Etats-Unis, l'Allemagne, l'Italie, préparaient des expéditions nombreuses, pourvues de bons instruments et dirigées par les observateurs soigneusement exercés. La France devait-elle s'effacer aujourd'hui, lorsqu'il y a cent ans c'est elle qui avait donnée l'impulsion aux entreprises célèbres pour lesquelles elle avait réclamé et obtenu, à cette époque, le concours de tous les pays civilisés ? Qui pouvait affirmer qu'un phénomène aussi rare, bien observé, ne deviendrait pas l'occasion de quelque découverte imprévue ? [...] »

« La commission pensa que l'observation du passage de Vénus sur le Soleil devait être poursuivie, comme moyen de faire connaître aujourd'hui avec précision la parallaxe du Soleil ; comme moyen de fournir dans l'avenir à nos successeurs des résultats indispensables, peut-être, à des conceptions dont nous ne pouvons pas mesurer l'étendue, dont surtout, nous ne devons pas prétendre à borner le champ. Elle n'a voulu ni abdiquer le glorieux héritage de nos ancêtres, ni mériter les reproches de nos descendants. Elle a jugé que le moment serait mal choisi, d'ailleurs, pour laisser la France en dehors de ce grand concours scientifique, où les nations civilisées s'apprêtaient à se mesurer sur un terrain qui appartient au passé de l'Académie et un combat où elle tenu la première place il y a cent ans »³².

Le passage est un événement pour lequel la science française doit se mobiliser. La Commission sera garante de la « stratégie de la campagne d'observation » qui conduira aux commandes de matériels, au choix des stations et à la sélection des chefs de missions. Ce seront, entre autres, l'île Saint-Paul et le capitaine de vaisseau Ernest Mouchez.

Lorsque s'ouvre la première séance de la Commission pour le passage de Vénus, le 22 janvier 1872, l'obligation de réussite au nom de l'intérêt supérieur de la Nation est dans tous les esprits ; cet enjeu

²⁹ La Commission dans la suite du texte.

³⁰ Cité par D. Aubin, « Un passage de Vénus en politique », *op. cit.*

³¹ Dumas J.-B., *Rapport de la commission du passage de Vénus lu à l'Académie le 19 juin 1874*, 63^e séance de la CPV.

³² *Ibid.*

supra-scientifique n'a pas empêché de vifs débats, mais il a certainement contribué à les canaliser. La France, après tout, ne pouvait que constater le retard pris sur les autres nations ; il fallait rapidement arrêter les techniques d'observations les plus prometteuses et le matériel nécessaire à leur mise en œuvre.

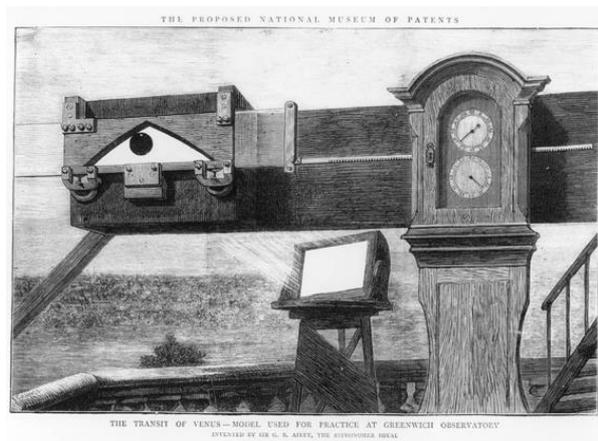
La Commission pour le passage de Vénus

Premières avancées avant 1870

Les scientifiques de la Commission purent s'appuyer sur les quelques travaux qui ont pu être entrepris entre le début des réflexions en 1866 et le déclenchement de la guerre.

Charles Wolf et Charles André s'intéressèrent à l'explication optique du phénomène de la goutte noire : « après le passage de Mercure du 4 novembre 1868, M. Wolf et moi, nous avons cherché à reproduire artificiellement le passage lui-même, et nous avons été conduits à admettre que ce ligament noir était dû uniquement soit aux défauts des objectifs, soit à ceux de la mise au point de l'oculaire». Ils supervisèrent par ailleurs l'installation d'un dispositif d'entraînement à l'observation du passage, similaire de conception au modèle imaginé par Airy (décrit ci-dessous), sur le Palais du Luxembourg ; les observations se faisaient à la lunette depuis l'Observatoire.

Cet appareil permet de simuler le passage d'une planète devant le Soleil et d'observer facilement les deux contacts internes. Un chariot déplace horizontalement le petit disque noir devant l'ouverture triangulaire (un verre dépoli fortement éclairé par l'arrière) représentant les bords du Soleil. Observé de très loin avec une lunette, ce dispositif permet d'étudier le phénomène de la goutte noire en reproduisant à volonté les contacts à l'entrée et à la sortie de la planète.



Crédit : Bridgeman/Giraudon, imcce.fr

Victor Puiseux entreprit les calculs de détermination de la zone de visibilité du phénomène, qui conduira au choix des stations pour les missions d'observation.

« M. Puiseux se livra dès lors à un examen minutieux de toutes les circonstances du phénomène de 1874, et traça sur une mappemonde les lignes qui peuvent guider les observateurs dans le choix de leurs stations. Il suffit de jeter un coup d'œil sur cette carte pour reconnaître que le passage complet ne sera visible que dans l'Asie orientale, l'Australie et les mers du sud. Dans une partie de l'Afrique, en Turquie, en Grèce, dans la Russie méridionale, on verra encore la sortie ; mais l'entrée aura lieu avant

le lever du soleil. Dans une région assez étendue de l'océan-Pacifique, on ne verra que l'entrée de la planète ; le soleil s'y couchera avant la fin du phénomène³³».



Mappemonde pour le passage de Vénus de 1874 par Victor Puisieux, in Marlot C., *Les passages de Vénus*

Protagonistes de la Commission et principaux points de discussion

La Commission est mandatée pour examiner tous les aspects des missions à venir : le choix des stations, celui des chefs de mission et la commande des instruments qui permettront l'observation directe des contacts, l'usage de la photographie pendant le transit.

Les contributions des différents membres varieront selon les sujets, mais il ressort de la lecture des comptes rendus des séances que deux figures ont dominé les débats de la première année, ceux qui ont conduit à des décisions structurantes : Hervé Faye et Hippolyte Fizeau.

Durant les deux années de guerre et d'après-guerre, Faye occupe la présidence de l'Académie des sciences ; il assure aussi celle de la Commission pour le passage de Vénus en 1872. Dès 1849, il se fait l'ardent promoteur de la photographie en astronomie. Et il sera sans aucun doute l'un de ceux qui réitérera le plus souvent sa foi en « l'objectivité mécanique » de l'appareil photographique³⁴. L'opportunité nouvelle d'archiver, puis comparer des observations menées aux quatre coins du monde, viendrait ainsi compenser les limites constatées lors des passages du XVIII^e siècle.

Fizeau, quant à lui, devient membre de la Commission en septembre 1874, à la suite des décès de MM. Laugier, maréchal Vaillant et Delaunay. Il estime que la photographie ne sera utile aux recherches que

³³ Radau R., Le passage de Vénus du 9 décembre 1874, *Revue des Deux Mondes*, 15 janvier 1874.

³⁴ Le Gars Stéphane, « Image et mesure : deux cultures aux origines de l'astrophysique française », *Cahiers François Viète*, série I – n°11-12, 2006, p. 43.

si elle conserve un caractère scientifique : il insistera donc sur l'exigence de pouvoir faire des mesures à partir des clichés et redoute des « photographies artistiques, qui seront inutiles au point de vue astronomique »³⁵. Il sera *in fine* chargé de la rédaction du *Programme des opérations photographiques qui devront être exécutées simultanément dans toutes les stations*.

Deux autres intervenants ont, chacun dans leur style, tenté de peser sur les échanges de la Commission : Le Verrier dans le rôle grinçant du Cassandre, et Jean-Baptiste Dumas, chimiste et secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, dans celui du pragmatique à la recherche d'un consensus, sinon d'une prise de décision.

Le Verrier est présent dès l'ouverture des débats. Il n'est plus directeur de l'Observatoire (Delaunay assurait cette fonction jusqu'à sa mort courant 1874). Il se comporte pourtant encore comme tel, comme en témoigne ce coup de griffe de la première séance : à M. Delaunay qui « déclare ne connaître ni le programme des expériences que M. Wolf propose d'exécuter, ni les moyens optiques ou mécaniques dont cet astronome doit se servir », Le Verrier répond que « M. Wolf, en parlant de communications faites au directeur de l'observatoire, n'a peut-être pas entendu désigner le directeur actuel »³⁶. Plus généralement, il est réservé sur la nécessité d'investir autant sur des expéditions au long cours, ne jugeant pas les nouvelles observations déterminantes pour le calcul de la parallaxe : « Les observations passées sont aussi précieuses ; [...] on en a déjà de très-nombreuses et de très-exactes ; [...] les observations de Picard et autres sont des trésors qu'on n'utilise pas et on va courir les mers pour faire un peu mieux, peut-être qu'il y a cent ans, mais rien de plus quant aux méthodes, et cela en négligeant ce qu'on a chez soi »³⁷. Il est opposé à la commande d'objectifs de grande taille (8 pouces), au motif qu'« il en existe de 7 pouces et qu'on peut les avoir immédiatement »³⁸. Au long des débats, il rappelle que les nouveaux instruments ne seront jamais livrés à temps : il répète que « si les instruments sont prêts à jour dit, ce sera la première fois qu'il aura vu un pareil fait se produire dans sa carrière astronomique³⁹ ».

Dumas, à partir du moment où il se joint à la Commission, adopte des points de vue beaucoup plus pratiques, s'intéressant à la reconnaissance des stations par la Marine ou le suivi de la construction des lunettes par les futurs chefs de mission, en vue de s'y familiariser (« des cinq microscopes qu'il a, un seul lui est d'un usage facile, celui dont il a l'habitude⁴⁰ »). Il recentre régulièrement les débats dans le sens de la prise de décision, rappelant les échéances et invitant les uns et les autres à se prononcer clairement.

Ces éléments de contexte expliquent que des décisions structurantes sur le choix des instruments et le protocole photographique aient été repoussées de séance en séance pendant toute l'année 1872. Plus rapide, on le verra, ont été les choix des stations et des chefs de mission : les sélections de Saint-Paul et de Mouchez ont sans doute été parmi les décisions les plus consensuelles de l'année.

³⁵ 10^e séance, le 4 novembre 1872, *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil*, Didot frères, 1876-1880

³⁶ 1^{ère} séance, le 22 janvier 1872.

³⁷ 8^e séance, le 29 octobre 1872.

³⁸ 5^e séance, le 10 septembre 1872.

³⁹ 8^e séance, le 29 octobre 1872.

⁴⁰ 8^e séance, le 29 octobre 1872.

Les décisions scientifiques et instrumentales structurantes

Le choix des stations – En avril 1872, les choix de Saint-Paul et Yokohama sont actés. Le 8 octobre sont évoqués les sites de l'île Campbell, des îles Macquarie, de Pékin, ainsi que Jérusalem, Bourbon, Nouméa et Tahiti pour des stations secondaires. En définitive, Pékin et l'île Campbell complèteront le dispositif des stations principales (deux dans chaque hémisphère), les stations secondaires devant s'établir à Saigon et Nouméa.

Saint-Paul, « ce petit îlot perdu au milieu du vaste bassin des mers australes »⁴¹, à 3 000 km de la Réunion et 4 000 km de l'Australie, s'est donc imposée comme une destination de premier choix. Si, même pendant l'été austral, les chances de bénéficier de conditions favorables étaient reconnues comme faibles, sa situation au centre de la zone de visibilité établie par Victor Puisieux et l'absence de perturbation humaine ou urbaine en ont fait une base indiscutable des observations françaises à venir. « La position isolée de Saint-Paul au milieu des mers australes donnait une telle valeur aux observations qu'on pouvait y faire qu'il était absolument indispensable qu'une mission tentât l'entreprise, aussi minimes que fussent les chances de succès »⁴².



Crédit : Blog officiel du district des îles Saint-Paul et Amsterdam - TAAF

Les instruments d'observation directe – La décision est prise de privilégier les réfracteurs munis de verres achromatiques et d'équiper les stations principales d'instruments identiques. La taille des lunettes est débattue pendant presque une année. La décision est finalement prise de commander de 8 pouces (objectifs de la classe des 200 mm), malgré leur coût et leur délai de fabrication, après plusieurs séances consacrées aux avantages respectifs des différentes classes.

6 pouces	8 pouces
Moins cher	Limite l'effet de la goutte noire
Déjà disponibles dans les observatoires	Moins de déformations optiques

⁴¹ Mouchez Ernest, *Discours devant la Séance publique annuelle des cinq académies*, 25 octobre 1875, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms1139-2 (1).

⁴² *Ibid.*

<p>Facilité de transport et d'installation</p> <p>Les petits instruments sont moins sensibles aux influences atmosphériques</p> <p>« Les Russes n'en auront que de 6 pouces, et, comme les îles où nous allons sont à peu près sur les méridiens de leurs stations de Sibérie, il serait bon d'être outillé comme eux, pour mieux comparer les résultats de ces stations bien placées les unes relativement aux autres⁴³ »</p> <p>Les chefs de mission militaires n'ont pas d'expérience avec les 8 pouces</p>	<p>Bon usage futur dans les observatoires</p> <p>« Dans le travail de MM. Wolf et André, il est dit qu'on n'évitait la goutte noire, qu'à condition d'employer des objectifs d'au moins 7 pouces⁴⁴ »</p>
---	---

Cela n'empêchera pas les missions principales d'être équipées d'instruments complémentaires (en plus de la lunette dédiée à la photographie). On ne pouvait se passer d'observations comparatives si bien que chaque station fut équipée d'une lunette de 6 pouces sur une monture équatoriale. L'arsenal optique fut enfin complété d'une petite lunette de 3 pouces.

Dans son ouvrage *Les passages de Vénus*, Christophe Marlot suggère que le choix d'objectifs de la classe des 200 mm répond à des enjeux politiques autant que de performance : « Une ambition corollaire à peine voilée de l'astronomie française était par ailleurs de pouvoir déterminer à elle seule la parallaxe de Vénus selon la méthode de Halley ; il était, pour parvenir à ce dessein, bien évidemment impossible que l'Académie se contentât d'instrument identiques à ceux qui seraient employés par les autres nations⁴⁵ » (cf. discours de H. Faye, ci-dessus p. 20). La lecture des comptes rendus des séances pour l'année 1872 laisse une impression plus contingente que politique : le choix de la classe des instruments apparaît plutôt comme la conséquence d'une commande passée très tôt, confirmée par défaut onze mois plus tard, en dépit de nombreuses voix discordantes, pour honorer des engagements déjà pris auprès des artistes.

Équipement photographique – « À côté des études directes effectuées à la lunette par les astronomes, venait se placer un nouveau procédé d'observation : la photographie appelée à jouer un rôle si nouveau et si important donnait en effet le moyen de recueillir instantanément et de conserver une image exacte des phases du phénomène »⁴⁶. Cette question fut vivement débattue : la photographie représente une innovation majeure et indispensable pour les uns, une technologie encore mal maîtrisée pour les autres. Le choix est finalement fait d'équiper une lunette (plutôt qu'un télescope) d'un appareil photographique ; de l'installer horizontalement devant un héliostat pour éviter les vibrations qu'induirait le poids de l'appareil sur une monture équatoriale en mouvement.

Après avoir longuement débattu des mérites et limites des plaques au collodion, le procédé photographique finalement adopté est celui de Daguerre : une plaque d'argent doublée de cuivre reçoit d'abord de la vapeur d'iode ; après avoir subi l'impression lumineuse dans l'appareil photographique, elle est exposée à la vapeur de mercure qui fait apparaître l'image en quelques

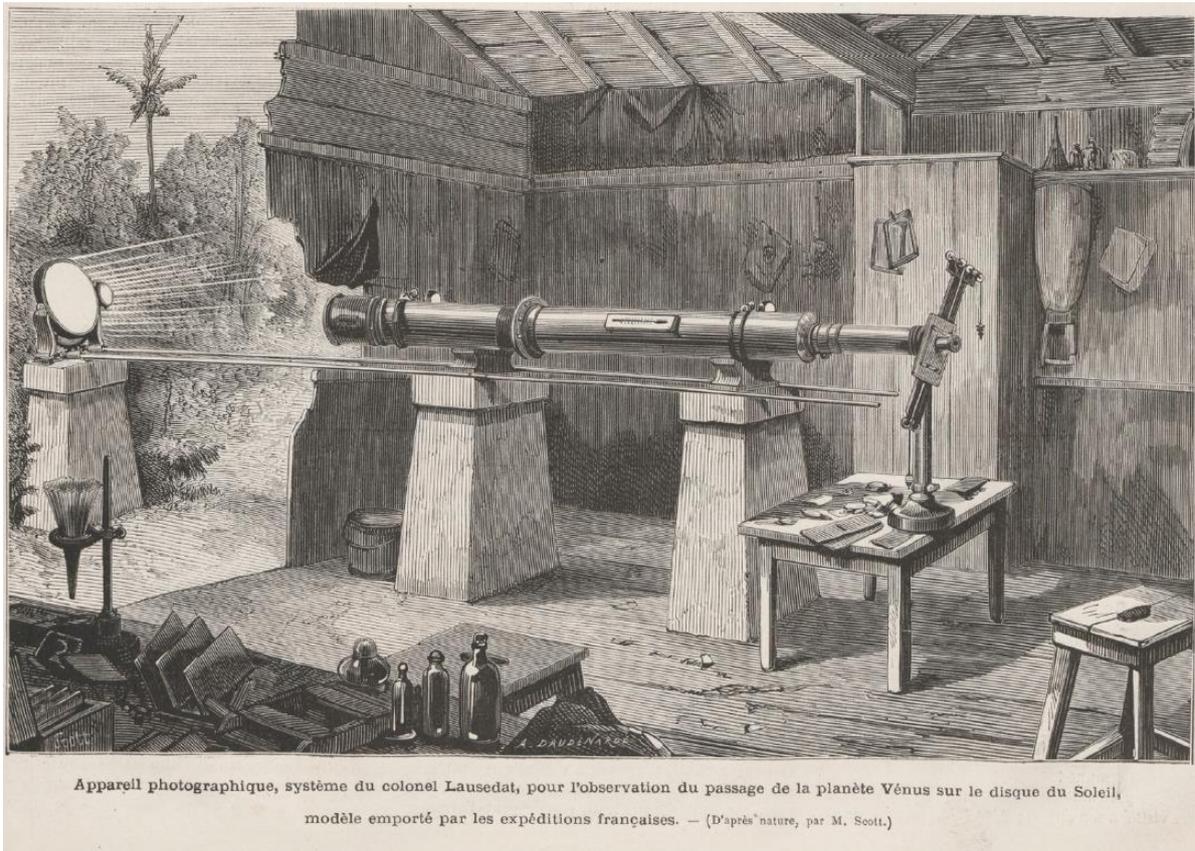
⁴³ 17^e séance du 7 décembre 1872, *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil*, op. cit.

⁴⁴ *Ibid.*

⁴⁵ Marlot C., *Les passages de Vénus*, op. cit. p. 242

⁴⁶ Mouchez E., *Discours devant la séance publique annuelle des cinq académies*, op. cit.

instants. Les plaques seront préparées sur place, au dernier moment, pour n'être affectées ni par la chaleur ni par l'humidité.



Le Monde Illustré, 18 décembre 1874

Enjeux scientifiques de la photographie – Les observateurs n'auront à s'occuper ni des mesures micrométriques des épreuves, ni des calculs relatifs à la parallaxe du Soleil, ces études devant être l'objet de travaux spéciaux, après le retour des expéditions.

Les observateurs veilleront à prévoir deux catégories d'épreuves :

1. pendant l'entrée et la sortie, les épreuves seront destinées spécialement à donner les grandeurs successives des cordes communes aux deux disques, afin d'en conclure surtout les heures des contacts ;
2. pendant le trajet de la planète sur le disque solaire, les épreuves seront destinées spécialement à donner les distances variables des centres des deux astres aux différents instants⁴⁷.

Chefs de mission – Les premiers échanges sur les chefs de mission interviennent en octobre 1872 : on se demande alors s'il faut qu'ils appartiennent à l'Observatoire, au risque d'en troubler le service (en sachant qu'à cette date, un directeur n'a toujours pas été nommé en remplacement de Delaunay, décédé plus tôt dans l'année) : « Il s'agit aussi de ne pas dépouiller les observatoires de ses personnels

⁴⁷ Fizeau H., *Programme des opérations photographiques qui devront être exécutées simultanément dans toutes les stations*, Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus devant le Soleil, Gauthiers-Villars, 1877-1882, tome I, 2e partie.

les plus compétents afin de ne pas désorganiser les services : au sein de la commission Vénus, Urbain Le Verrier reste très vigilant sur ces questions !⁴⁸». « Les grandes difficultés nautiques et d'installation matérielle qu'on prévoyait pour les îlots des mers australes engagèrent la commission à les confier à des marins, bien qu'ils n'y eussent pas été préparés par une longue pratique des grands instruments astronomiques »⁴⁹.

Faye avance les noms de Wolf et André ; Le Verrier évoque Rayer, le colonel Laussedat, le lieutenant de vaisseau Fleuriais et le commandant Mouchez⁵⁰. Pour ce dernier, le détachement est acquis une semaine plus tard : « L'amiral Jurien de la Gravière dit, à propos du personnel, que le ministre de la Marine a donné son consentement à M. Héraud, ingénieur hydrographe ; il l'accordera également à MM. Mouchez et Bouquet de la Grye »⁵¹.

Mouchez est présent dès la séance du 9 novembre, la 11^e, au cours de laquelle il répond aux questions de membres de la Commission sur :

- les aptitudes du personnel de la Marine et la possibilité de « tout fabriquer (en dehors des instruments) dans les stations insulaires ;
- l'opportunité d'une croisière de reconnaissance des îles des mers du sud : « Le commandant Mouchez observe qu'une croisière (de reconnaissance) près des îles n'apprendrait rien ; les îles isolées se couvrent de nuages et de vapeurs, même quand elles sont basses ; ce sont ces nuages amoncelés qui de loin indiquent la présence de la terre » ;
- la question des chronomètres et leur éventuelle perturbation par le mouvement des bateaux. Il rappelle que la Lune sera observée avec soin pour corriger les tables ; « avec une douzaine de bonnes observations sur place, il est possible d'atteindre une précision d'une seconde de temps ».

En décembre 1872, il est acquis qu'il dirigera une des expéditions australes ; l'Académie et les ministères concernés lui confient le 26 mars 1873 la direction de la station de l'île Saint-Paul et le commandement militaire de l'expédition.

⁴⁸ Boistel Guy, *L'observatoire de la marine et du Bureau des longitudes au parc Montsouris, 1875-1914*, IMCCE E/dite, 2010.

⁴⁹ Mouchez Ernest, « *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul* », *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil*, Didot frères, 1876-1880.

⁵⁰ 9^e séance du 29 octobre 1872, *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil*, *op. cit.*

⁵¹ 12^e séance du 4 novembre 1872.

Qui est Mouchez ?



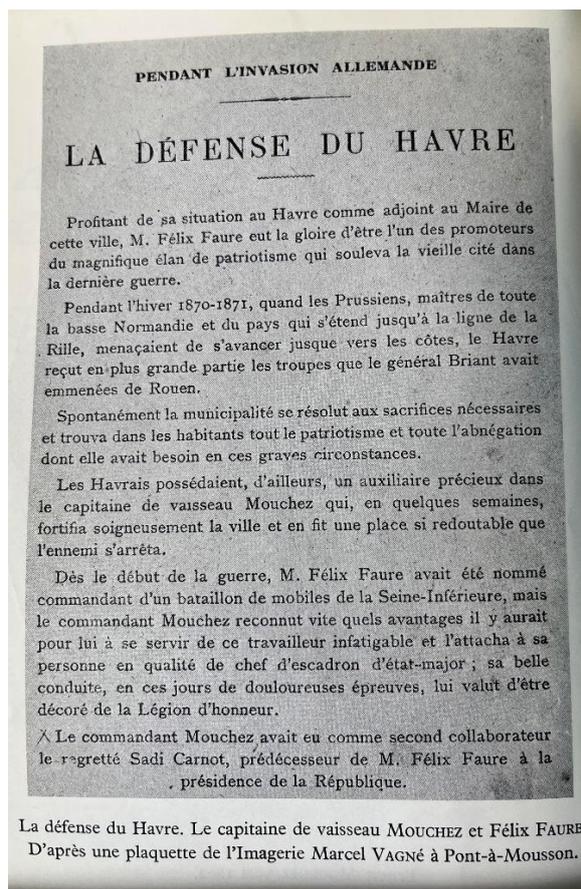
Ernest Mouchez vers 1862 (Crédit : Robert Mouchez)

Ernest Mouchez, capitaine de vaisseau à cette époque, possède des « qualités d'officier savant [...] reconnues et appréciées des milieux scientifiques. À partir de 1840 et jusqu'en 1872, Mouchez va être engagé dans de nombreuses missions hydrographiques et cartographiques au cours desquelles il va développer un goût immodéré pour l'astronomie, manifestant ainsi de sérieuses compétences scientifiques. Vers 1850 – il est alors lieutenant de vaisseau – il précise son projet : répandre le goût des observations astronomiques chez les marins, ainsi que la pratique des méthodes de l'astronomie nautique. Son idée, affirmée à maintes reprises, est d'adapter les techniques de l'Observatoire aux besoins de la marine : hydrographie, cartographie, point astronomique »⁵². Ses missions l'ont conduit en Asie, au Brésil, en Algérie – sa dernière campagne hydrographique avant de partir pour Saint-Paul ayant été interrompue par la guerre.

À la déclaration de guerre, il transborda sur une corvette chargée de patrouiller en mer du Nord, tâche « fastidieuse » qu'il accomplit jusqu'au mois de novembre 1870 – en fulminant contre les « gredins et les crétins de l'ex-gouvernement⁵³ » : il est alors nommé commandant de la subdivision militaire de Rouen, en charge notamment de la défense de la ville du Havre. S'il s'était attiré la reconnaissance des Havrais, il s'était aussi fait connaître de personnalités politiques : son adjoint Félix Faure et Sadi Carnot, deux futurs présidents de la République.

⁵² 12^e séance du 4 novembre 1872, *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil*, op. cit.

⁵³ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892*, Éditions Cujas, 1970.



In Robert Mouchez, *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892*

La campagne d'Algérie reprend en 1873, et il est nommé membre du Bureau des Longitudes la même année. Les travaux hydrographiques s'achevant le 20 juillet, Mouchez rentre alors à Paris, tant pour achever la rédaction des travaux concernant la côte d'Algérie que pour préparer la mission qu'il devait faire l'année suivante à Saint-Paul.

Ce délai d'un an n'est certainement pas excessif : les protocoles d'observation doivent être répétés et affinés, les démarches administratives entreprises et la logistique minutieusement établie. Ernest Mouchez sait, on l'a vu, pourquoi des marins ont été sélectionnés pour conduire les missions dans les mers australes. Il sait également qu'il faudra être préparé pour affronter ce qui, au-delà d'une expédition scientifique, s'annonce comme une véritable aventure. Jugeons seulement de ce qu'il entrevoit de sa destination avant son départ : « C'est le cratère d'un volcan à peine éteint émergeant du fond de la mer à 280 mètres au-dessus du niveau de l'eau, un rocher absolument stérile, inhabitable, sans eau potable, sans végétation, et fréquenté seulement par des bandes de phoques, oiseaux et de pingouins. Chaque année pendant les trois mois d'été de décembre à avril, quelques marins malgaches et de la Réunion viennent s'y établir pour saler et sécher 50 à 60 tonnes de morue qu'ils pêchent autour de l'île ; le temps est quelquefois assez calme alors, mais extrêmement brumeux ; pendant le reste de l'année, l'île n'est pas abordable. Les coups de vent y sont fréquents en toute saison ; ils y sont continus aux équinoxes et acquièrent alors la force d'une véritable tempête ; c'était précisément l'époque où nous allions y arriver. La mer entièrement dégagée de toute terre entre l'Afrique et l'Australie sur un espace de 2 000 lieues, s'y soulève et se propage en toute liberté ; aussi

les vagues y acquièrent-elles des dimensions inconnues dans les autres parages ; et elles déferlent avec violence tout autour de ce rocher trop petit pour former un mouillage suffisamment abrité⁵⁴ ».

Tel est l'environnement dans lequel Mouchez et son équipage entendent mener des observations permettant d'arrêter la valeur de la parallaxe solaire à quelques dixièmes de secondes d'arc près... Comme le suggère W. de Fonvielle dans *Le Monde Illustré* du 12 décembre 1874, « *si les habitants de Vénus pouvaient se douter de toutes les folies que nous faisons à propos de leur planète, ils nous prendraient certainement en pitié* ».

⁵⁴ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

Une « singulière journée » : l'observation du passage à Saint-Paul

« Il paraît que, même pour l'intérêt anecdotique et *dramatique*, l'histoire du passage de Vénus en 1874 ne le cédera point à celles du même événement en 1761 et 1769, sur lesquelles elle l'emportera tant – c'est la loi du progrès – sous le rapport scientifique⁵⁵ ».

Les préparatifs du départ

Les grandes lignes de la mission avaient été présentées à la Commission dès la fin 1872 : « On embarquera le 30 août à Marseille pour arriver le 27 septembre à Bourbon. On partira de Bourbon le 28 octobre pour arriver à Saint-Paul le 8 novembre. L'avis qui aura transporté les observateurs restera à leur disposition. Il portera les hommes destinés à être laissés sur les îles, c'est-à-dire cinq matelots de profession ; une baleinière, du matériel de campement, du charbon de terre et un an de vivres de campagne seront laissés sur chaque île, ainsi que des matériaux pour construire le massif, élever les cabanes, etc. »⁵⁶.

A partir du 1^{er} janvier 1874, les préparatifs seront menés à Paris, où six officiers ou ingénieurs hydrographes sont autorisés par le ministre de la Marine à se mettre à la disposition de la Commission, ainsi que quatre ouvriers mécaniciens choisis pour suivre les instruments, apprendre à les monter et les démonter. A partir du 1^{er} mai 1874, six charpentiers travaillent au démontage et à l'embarquement des cabanes.

En plus du suivi de ces travaux, Mouchez consacre du temps, sa correspondance en témoigne, à finaliser un certain nombre de points clés pour le succès de la mission : l'obtention de matériel astronomique auprès de la Marine (pour compléter les grands instruments fournis par la Commission), la constitution de l'équipe scientifique qui l'accompagnerait à Saint-Paul et la planification du passage lui-même.

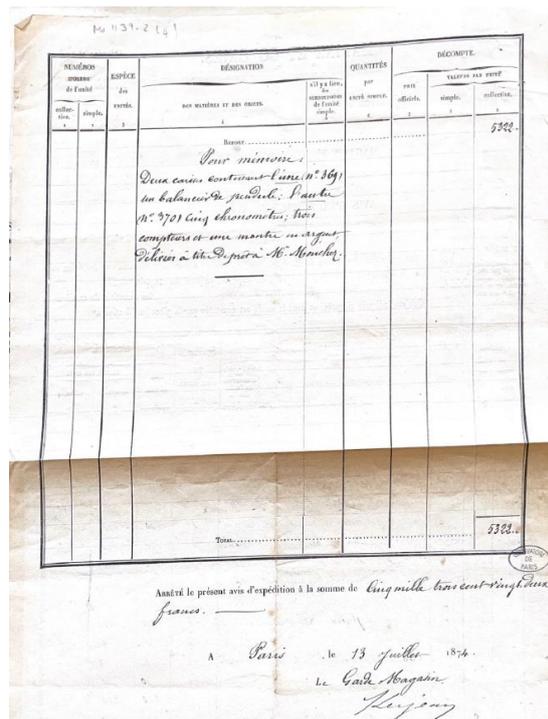
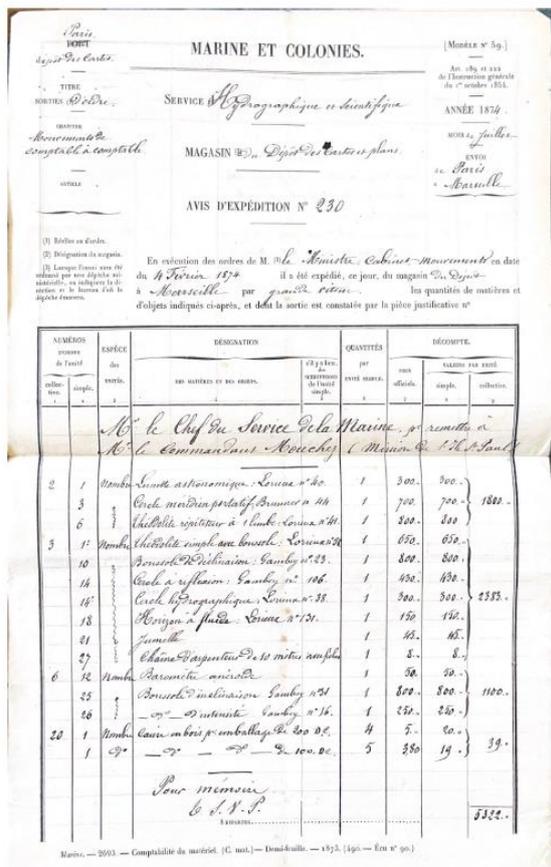
La coordination avec la Marine

L'ensemble du matériel devait être chargé à Marseille sur la *Dordogne*, un transport de l'État, pour être transbordé à Saint-Denis sur la *Dives*, dont Mouchez prendrait le commandement jusqu'à Saint-Paul. La note ci-dessous témoigne de la livraison d'instruments remis par le chef du service de la Marine au commandant Mouchez. Il s'agit de l'équipement nécessaire à « la détermination rigoureuse des coordonnées géographiques des lieux d'observation »⁵⁷, aux relevés hydrographiques, aux prévisions météorologiques et aux réglages des horloges.

⁵⁵ *Le Rappel*, 30 décembre 1874 (je souligne)

⁵⁶ 13^e séance du 16 novembre 1872, *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil*, op. cit.

⁵⁷ Rochefort E., *Passage de Vénus sur le Soleil, Mission de Saint-Paul*, Archives de médecine navale, 1875.



Sortie d'ordre, Magasin du Dépôt des Cartes et Plans, 13 juillet 1874, archives de l'Observatoire de Paris (Ms 1139-2)

Soit :

1 Lunette astronomique : Lorieux n°40	1 Chaîne d'arpenteur de 10 m avec fiches
1 Cercle méridien portatif : Brunner n°44	1 Baromètre anéroïde
1 Théodolite répétiteur à 1 limbe : Lorieux n°44	1 Boussole inclinaison : Gambey n°31
1 Théodolite simple avec boussole : Lorieux n°58	1 Boussole d'intensité : Gambey n°16
1 Boussole de déclinaison : Gambey n°23	1 Jumelle
1 Cercle à réflexion : Gambey n°106	3 Compteurs
1 Cercle hydrographique : Lorieux n° 38	1 Balanceur de pendule
1 Horizon à fluide : Lorieux n°131	5 Chronomètres
4 Caisses en bois pour emballage de 200 DC	1 Montre en argent
5 Caisses en bois pour emballage de 100 DC	

L'équipage

Pour Saint-Paul, les observateurs envoyés par la Commission de l'Académie des Sciences étaient M. Turquet de Beauregard, lieutenant de vaisseau, chargé des observations astronomiques avec Mouchez, et M. Cazin, professeur de physique au lycée, en charge des mesures de magnétisme et des opérations photographiques. Au fil des discussions avec le ministère de la Marine il fut décidé que les observations de la faune et de la flore seraient assurées par M. de l'Isle, du Museum d'histoire naturelle, qui serait assisté dans cette tâche du docteur Rochefort, par ailleurs médecin de l'expédition ; Charles Vélain, un

géologue, qui avait accompagné Mouchez en Algérie, rejoint la mission avant le départ de Marseille. L'équipe scientifique fut tout à fait au complet lorsque M. Lantz, un membre du Muséum en mission à la Réunion, se joignit au groupe lors du passage sur l'île.

Des officiers marinières et marins complétaient l'effectif, représentant tous les corps de métiers : un quartier-maître mécanicien, un élève mécanicien, un quartier-maître charpentier, deux charpentiers, un voilier, un ouvrier mécanicien forgeron, un timonier, un matelot-timonier, un gabier breveté, un boulanger-coq »⁵⁸, tandis qu'un « ouvrier maçon donnerait la main aux uns et aux autres et dresserait, à la fin du séjour, le monument qui devait commémorer le passage de la mission sur l'île⁵⁹ ».

Derniers calculs avant le départ

Mouchez se présentait comme un marin, « un coureur de mers »⁶⁰ ; il était aussi, on l'a vu, un astronome accompli, perfectionnant notamment l'observation nautique avec une lunette méridienne portative et un altazimut de son invention. La maîtrise n'exclut pas l'humilité : il a ainsi sollicité Victor Puisieux, son collègue au Bureau des Longitudes, sur les prévisions théoriques, anticipant toutes les précautions qui lui faudrait prendre. Nous ne possédons que la réponse de Puisieux, de laquelle il est possible de déduire que Mouchez l'a interrogé sur :

- l'orientation des photographies nécessaire si l'on voulait déduire la parallaxe de la comparaison des angles de position de Vénus mesurés au même instant (ou à peu près) dans deux situations différentes ;
- les heures des contacts estimées pour la position de Saint-Paul et les positions des ponts de contacts sur le disque solaire ;
- les incertitudes sur les heures des contacts ;
- l'évolution du diamètre apparent de Vénus tout au long du passage.

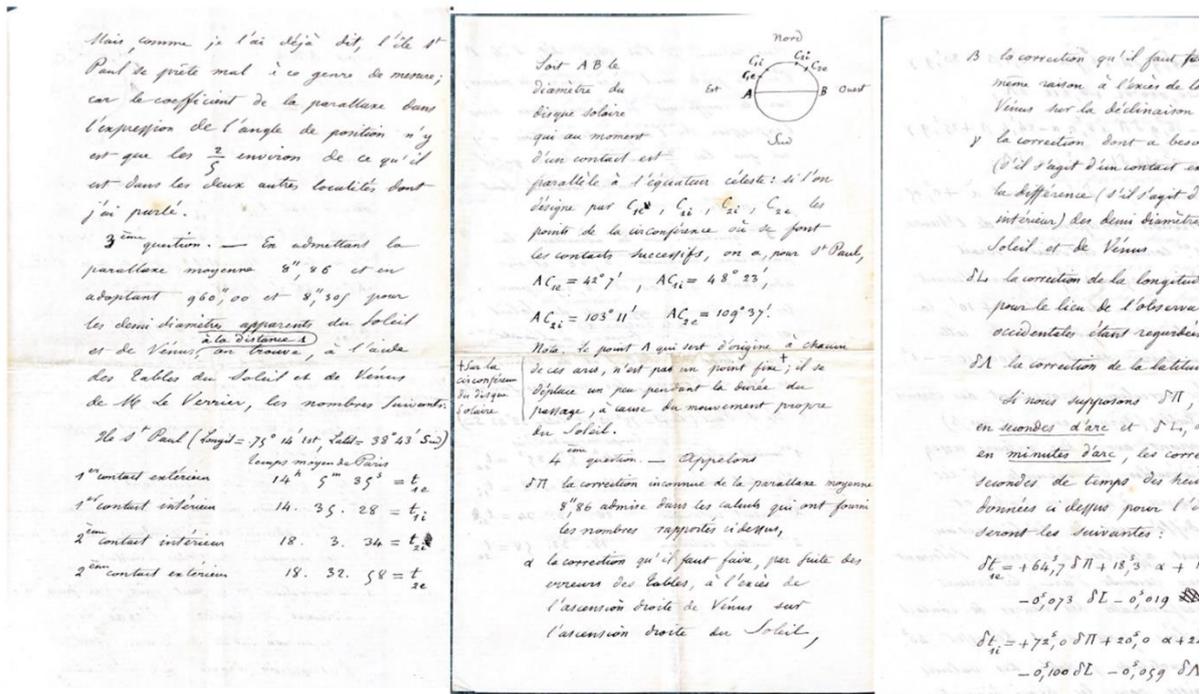
La transcription de la lettre de Puisieux se trouve dans son intégralité dans les annexes. Un élément de réponse est intéressant pour mesurer la fiabilité des calculs : il concerne l'incertitude à prendre en compte sur les heures de contact calculées. En tenant compte des erreurs possibles sur l'excès de l'ascension droite et de déclinaison de Vénus sur l'ascension droite du Soleil, sur la somme (s'il s'agit d'un contact extérieur) ou la différence (s'il s'agit d'un contact intérieur) des demi-diamètres apparents du Soleil et de Vénus, sur les longitude et latitude admises, Puisieux estime que « l'observateur devra se tenir prêt à observer un contact 2 minutes environ avant l'heure calculée »⁶¹. 2 minutes seulement, pour une longitude donnée, après 105 ½ d'attente...

⁵⁸ Lettre du ministère de la Marine au gouverneur de la Réunion à Saint-Denis, le 11 février 1874, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms 1139-2 (2).

⁵⁹ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892, op. cit.*

⁶⁰ *Ibid.*

⁶¹ *Lettre de Victor Puisieux à Ernest Mouchez, 1^{er} mars 1874, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms 1139-1 (8).*



Lettre de Victor Puisieux à Ernest Mouchez, 1^{er} mars 1874, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms 1139-1 (8)

De Marseille à Saint-Paul

La majeure partie du matériel fut acheminée vers la Réunion par la *Dordogne*. Les officiers, les scientifiques et une des lunettes commandées par la Commission embarquèrent sur le paquebot *Amazon* le 20 juillet 1874. Ils en descendirent à Aden deux semaines plus tard et transbordèrent sur la corvette *Dupleix* pour deux semaines supplémentaires de mer jusqu'à Saint-Denis. La nécessité de régler les chronomètres et le chargement des vivres imposent un court séjour à la Réunion. Le ministère de la Marine avait donné au gouverneur de la Réunion, dès février 1874, la liste des provisions à embarquer sur la *Dives* : « Il y aura lieu de mettre, sur la *Dives* pour être débarqués à l'île de Saint-Paul, six mois de vivres pour 16 personnes (ration des colonies) en y comprenant deux mois de viande sur pied, en mouton. Il conviendra d'ajouter, par prévoyance, six mois de viande conservée et de biscuits pour seize personnes⁶² ».

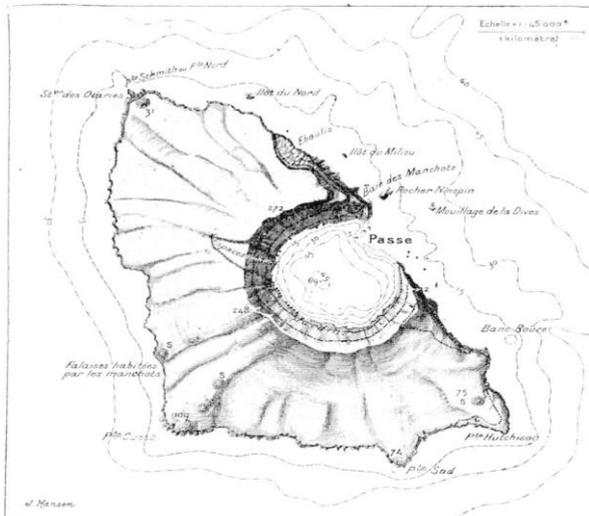
Au moment de partir, le pêcheurs qui fréquentent les parages de Saint-Paul (appuyés par le capitaine de la *Dives*) recommandent à Mouchez de retarder son départ d'un mois : « Ils m'affirment qu'il me sera impossible, dans cette saison, d'accoster ce rocher et débarquer mon volumineux matériel sans m'exposer à de graves avaries ; la mer y est beaucoup trop grosse et le vent trop violent ; mais un tel retard compromettrait trop les préparatifs de notre observation ; plein de confiance dans un heureux hasard, et surtout dans ma ferme volonté de tout faire pour réussir, je pars au jour fixé⁶³ ».

La *Dives* quitte donc Saint-Denis le 8 septembre et rejoint Maurice. À Port-Louis les attend la corvette *Dupleix* avec les instruments qui n'avaient pas encore été transbordés ; Mouchez y visite l'observatoire

⁶² Lettre au gouverneur de la Réunion à Saint-Denis, 11 février 1874, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms1139-2.

⁶³ Mouchez E., *Discours devant la Séance publique annuelle des cinq académies*, op.cit.

de météorologie et discute de la théorie des cyclones tropicaux avec son directeur pendant que l'on recrute six pêcheurs malgaches pour accompagner l'expédition. Le 10 septembre, la *Dives* appareille enfin pour Saint-Paul que Mouchez aperçoit pour la première fois le 22 septembre.



Île Saint-Paul après les levés hydrographiques de MM Mouchez et Turquet de Beaugard en 1874 - Vélain Charles, « Les Îles Saint-Paul et Amsterdam (Océan Indien) », *Annales de Géographie*, t. 2, n° 7, 1893. p. 329-354.



Crédit : Francis Letourmy (Travail personnel)



Crédit : Benoit Stichelbaut (hemis.fr)

Les observations des scientifiques confirment immédiatement les descriptions lugubres qui en avaient été lues à Paris.

« À mesure que nous approchions, nous pouvions en reconnaître les traits si caractéristiques et si souvent décrits : l'aspect désolé, tourmenté, de la surface, les nombreux courants de lave qui percent la maigre et jaunâtre végétation, les cônes adventives qui occupent les angles saillants du pourtour, et surtout les quatre cônes alignés de la pointe O.⁶⁴ ».

« Rien ne saurait donner l'idée du sombre et sauvage aspect des lieux qui venaient de s'offrir subitement à nos regards, et qui allaient devenir notre séjour ; il faisait presque nuit, nous étions dominés, à très petite distance, par des falaises noires et à pic de 200 à 300 mètres de hauteur, dont les crêtes aigües déchiraient les nuages courant avec une extrême rapidité au-dessus de nos têtes. Le vent, accompagné de grêle et de neige, tombait en violentes rafales dans le bassin du cratère et y soulevait de nombreuses colonnes d'eau tourbillonnant en forme de cyclone jusqu'à 15 ou 20 mètres

⁶⁴ Rochefort E., *Passage de Vénus sur le Soleil, Mission de Saint-Paul*, op. cit.

de hauteur ; au premier abord, nous crûmes être témoins d'une éruption d'eau et de vapeur sortant du fond du volcan⁶⁵ ».

Une étroite passe donne entrée, quand le temps le permet, dans un bassin circulaire ; mais le temps ne le permettait pas. Un navire de guerre anglais, le *Megera*, dont les débris jonchent encore l'île, rappelle les dangers de cette passe. Ce n'est que le lendemain, 23 septembre, qu'on put envisager de mettre pied à terre. Les premières caisses sont débarquées à proximité des constructions de pêcheurs de l'année passée et des abris de fortune improvisés par les huit cents naufragés du *Megera* trois ans plus tôt. La première excursion de Mouchez lui laisse une impression plus favorable que prévue sur les facilités d'installation : l'emplacement des postes d'observation est identifié, le matériel abandonné par les marins anglais abondant et varié – on trouve même une « bibliothèque composée de 200 à 300 volumes des philosophes français, anglais et allemands des xvii^e et xviii^e siècles, et de gros in-4° d'Architecture, de Théologie et de Droit canon, le Parfait notaire, la Discussion du code civil...⁶⁶ ». Vélain, le géologue, écrit que toutes ces épaves seront « d'une grande ressource » en permettant d'élever rapidement les constructions.

Tout le personnel de la mission est envoyé à terre afin de préparer les logements, réparer l'embarcadère et la digue. Le vent se lève et, le lendemain, le 24 septembre, Mouchez interrompt les travaux pour regagner la *Dives* qui, prise en travers du vent, a déjà perdu une première ancre et commencé à dériver. Il autorise Cazin, souffrant du mal de mer, à rester à terre avec les pêcheurs malgaches, « bien que je ne sois nullement certain du lendemain » écrit-il⁶⁷.

Quand revint le jour, Cazin cherchait la *Dives* « en vain au mouillage de la veille ; et sur toute l'étendue de la vase mer. Nouveau Selkirk, il était seul dans cette nouvelle Juan-Fernandez. C'est que le grand vent du nord-ouest s'était vite changé en ce que M. Mouchez appelle une « forte tempête », et M. Vélain un « tempête affreuse », qui, arrachant le bâtiment à son ancre, la troisième perdue en trois jours, le chassait jusqu'à cinquante lieues sous le vent de l'île et lui enlevait sa voilure et son gouvernail⁶⁸ ».

Mouchez manœuvre pendant plusieurs jours dans des conditions épouvantables ; « enfin, après soixante-douze heures d'un louvoyage très serré sous voile et vapeur, nous avons le bonheur de revoir notre île et de pouvoir laisser tomber notre dernière ancre le 1^{er} octobre, à 9 heures du matin, au point même d'où nous avons été chassés par la tempête huit jours avant⁶⁹ ». Au grand bonheur de Cazin qui les croyait perdus. « Tout avait été disposé à bord depuis la veille pour opérer le débarquement avec la plus grande célérité possible ; j'avais dressé une liste où étaient indiqués l'importance des colis et l'ordre dans lequel ils devaient être débarqués, afin que, si un nouvel accident obligeait la *Dives* à partir au milieu du travail, nous pussions rester sur l'île avec les objets les plus indispensables, et attendre une époque plus favorable. Les premiers objets à débarquer étaient les gros instruments, puis la machine distillatoire pour faire l'eau douce, et les barils de farine et de biscuit⁷⁰ ». Début octobre, le débarquement s'achève finalement, la partie que Mouchez estimait « la plus critique » de l'expédition.

⁶⁵ Mouchez E., *Discours devant la Séance publique annuelle des cinq académies*, op. cit.

⁶⁶ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

⁶⁷ *Ibid.*

⁶⁸ *Le Rappel*, 30 décembre 1874.

⁶⁹ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

⁷⁰ *Ibid.*

Le ministère de la Marine avait ordonné que la *Dives* restât sous ses ordres pendant le temps du séjour à Saint-Paul. Mais les conditions météorologiques et la perte des ancres le convainquirent de la renvoyer à la Réunion pour ne revenir que début décembre, au moment du passage. Le 4 octobre, « la *Dives* nous laissait abandonnés à nos propres ressources, mais plein d'espoir en l'avenir et heureux d'avoir opéré sans accident la très difficile opération de notre débarquement sur ce rocher abrupt pendant la plus mauvaise période des coups de vent de l'équinoxe⁷¹ ». Elle emporte les courriers de Mouchez et Vélain qui seront communiqués à l'Académie des Sciences et trouveront un écho dans la presse en décembre 1874.

Une colonie scientifique temporaire

Chacun s'affaire selon sa spécialité. Sur le site retenu par Mouchez, quelques ares presque au bord de l'eau, on construit d'abord le campement – logements, réfectoire, cuisine, boulangerie, magasin à vivres, puis les laboratoires et les cabanes qui abriteront les instruments d'astronomie.

Certains jours, le vent rend le travail impossible ; parfois même, il détruit le travail de la veille. « Inlassablement, le timonier note jours après jours : *mauvais temps... vent violent... tempête... pluies fréquentes* ou bien – et ce serait du beau temps pour tout autre qu'un astronome – *brouillard intense... ciel sombre... sommets couverts*⁷² ». Il faut attendre le 3 novembre, soit près d'un mois après le débarquement, pour que le timonier puisse noter dans son journal : « premier jour de calme à Saint-Paul ».

Les responsabilités de l'équipe scientifique furent également distribuées :

- M. Mouchez, équatorial de 8 pouces et altazimut ;
- Turquet, équatorial de 6 pouces et petite méridienne ;
- Cazin, photographie physique du globe ;
- Dr Rochefort, observations météorologiques et de marée, assistant photographe ;
- Vélain, De l'Isle, Lantz, naturalistes, chargés d'organiser le campement.

⁷¹ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

⁷² Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892*, op. cit.



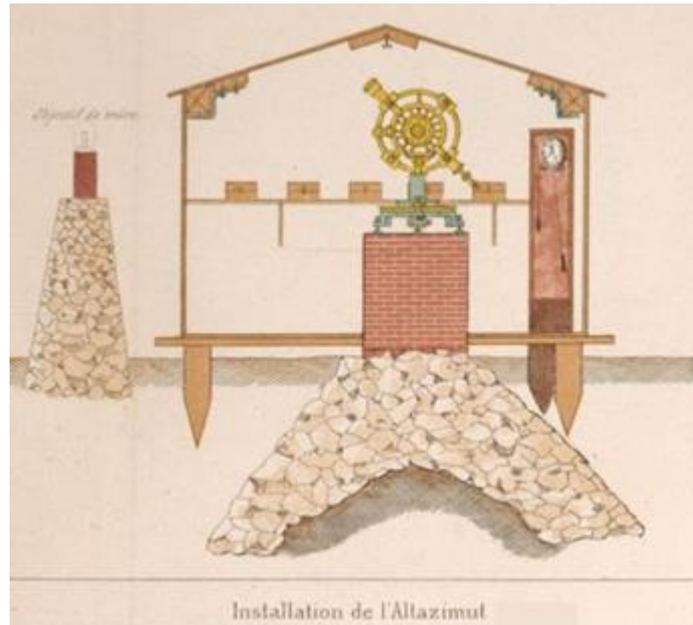
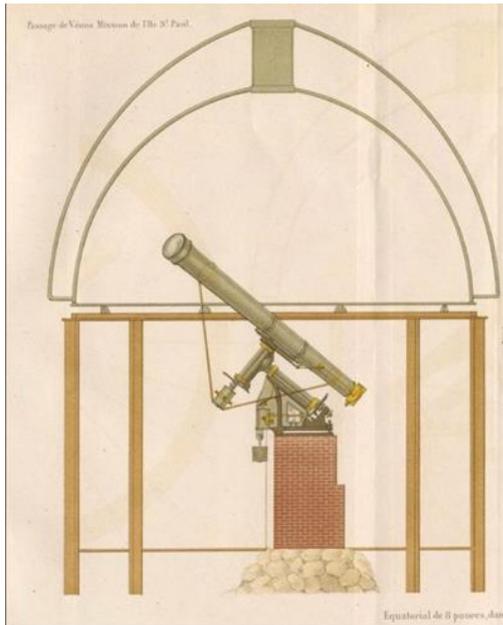
Membres de la mission envoyée à l'île Saint-Paul pour observer le passage de Vénus
(Mouchez, n°3 ; Vélain, n°4) - BnF, Société de géographie, SG XDC-119

Les timoniers, exercés depuis leur départ de France à « bien compter sur les chronomètres et apprécier le dixième de seconde »⁷³, furent répartis entre les observateurs. Enfin, toutes les nuits, entre le lever et le coucher du Soleil, un sous-officier et un matelot de quart, qu'on relèverait toutes les deux heures, devaient faire d'heure en heure les observations des instruments météorologiques et de l'échelle de marée.

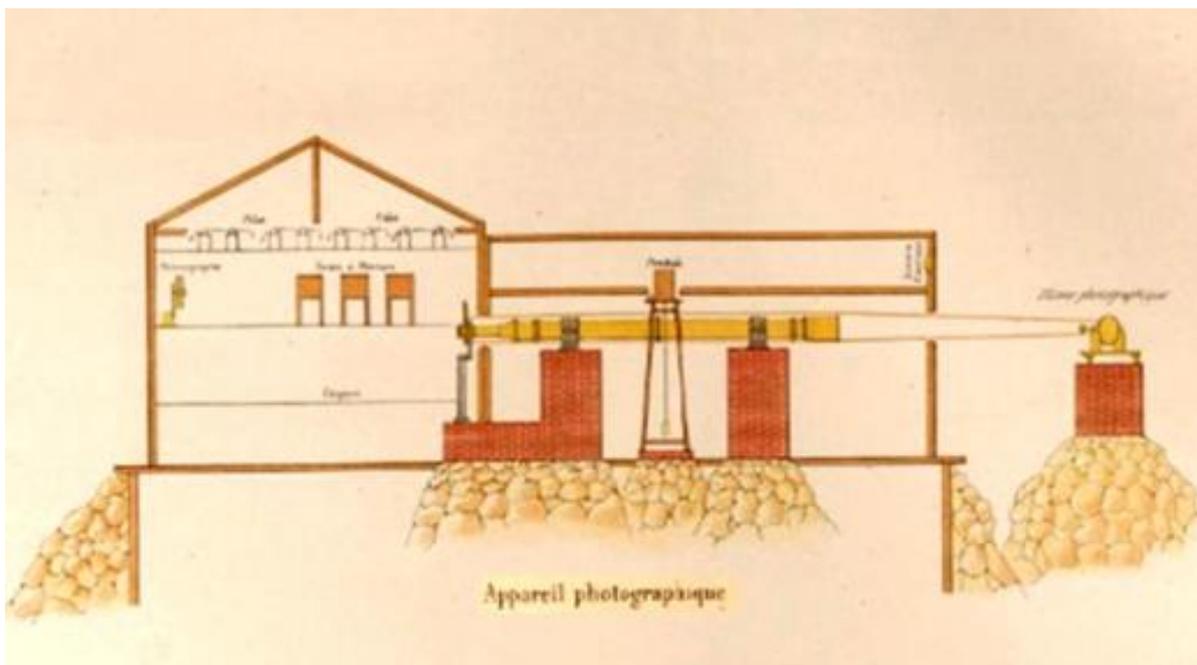
La réalisation de l'observatoire fut laborieuse, en raison des conditions météorologiques exécrationnelles qui marquent le printemps à Saint-Paul. L'équipement nécessaire à l'observation fut enfin installé dans les cabanes au début novembre, et les premières tentatives de mesure effectuées, non sans difficulté, sous un ciel particulièrement imprévisible, bien que les températures aient commencé à se faire plus clémentes. Des entraînements se sont déroulés sur un transit artificiel, « bricolé et installé à mi-pente dans la falaise⁷⁴ ».

⁷³ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

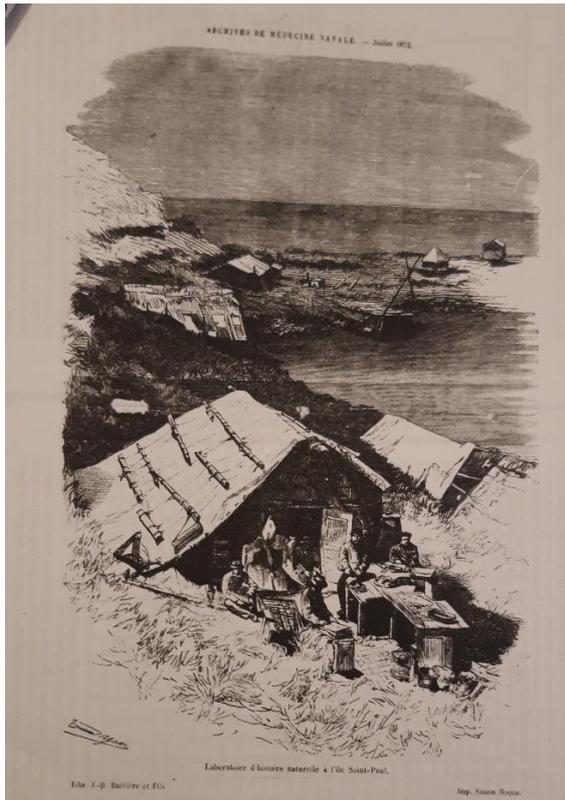
⁷⁴ Marlot C., *Les passages de Vénus*, op. cit.



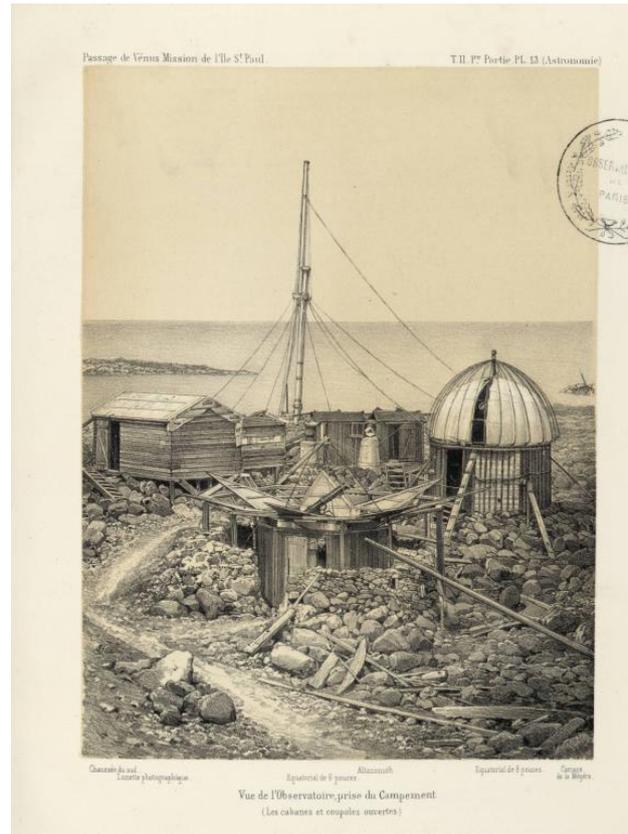
À gauche, l'équatorial de 8 pouces ; à droite, l'installation de l'altazimut) qui servira à faire les 50 observations de positionnement en latitude et longitude, in *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil, Mission de Saint-Paul, Académie des Sciences*



L'installation de l'appareil photographique, in *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil, Mission de Saint-Paul, Académie des Sciences*



Laboratoire d'histoire naturelle à Saint-Paul – Archives de médecine navale, juillet 1875



Vue de l'observatoire prise du campement (les cabanes et coupoles ouvertes) – Archives de l'Observatoire de Paris, IMCCE

Les instruments sont calibrés et leur altération évaluée :

- pointages sur β du Navire et β de l'Hydre pour avoir la valeur de la vis micrométrique de l'équatorial de 8 pouces ;
- réglage de la pendule par des passages d'étoiles ;
- mesures de la valeur angulaire de l'échelle des millimètres gravée sur verre et placée au foyer de la lunette photographique – pour en conclure la valeur angulaire des images du Soleil et de Vénus ;
- mesure d'images photographiques avec l'équatorial 8 pouces.

Mouchez conclut, mi-novembre : « toutes ces mesures de diamètre du Soleil semblent prouver que nos appareils photographiques et notre manière d'opérer ne produisent aucune altération systématique appréciable sur la grandeur de l'image solaire. »

Se préparer en dépit des conditions

Le matériel n'ayant pas souffert du transport ni des péripéties du débarquement, Mouchez s'attache ensuite à planifier le déroulé des opérations du 9 décembre et de prévoir le rôle de chacun avec

minutie. À cette fin, il établit un *Ordre du jour* qui établit, poste par poste, heure par heure, les responsabilités de tous. Chacun en reçoit une copie. Le document est consultable dans les Annexes ; un extrait donnera une idée de la détermination de Mouchez à accomplir sa mission et à garantir l'efficacité de chaque geste.

Ordre du jour pour le 9 décembre.

Le branle-bas et le déjeuner seront terminés à 5h30 du matin, et chacun se rendra au poste qui lui a été assigné. Les principales dispositions ayant été prises pendant les journées précédentes, il n'y aura plus qu'à faire les derniers préparatifs et à s'assurer que tout fonctionnera bien pendant les cinq heures que durera l'observation. Aucune autre personne que celles qui sont destinées pour les observations ne devra être admise dans les cabanes ; personne ne devra quitter son poste sans prévenir son chef de service.

Chacun restera à son poste quel que soit l'état du temps, afin de pouvoir profiter de toute éclaircie subite ; l'abri des instruments devra être préparé de manière à être ouvert ou fermé instantanément.

Comme il paraît exister un certain doute sur le moment du premier contact d'après les avis de Greenwich, les observateurs et les instruments seront prêts à fonctionner à 6h50, et l'on commencera dès lors à veiller le point du Soleil où doit avoir lieu le premier contact.

PHOTOGRAPHIE.

Composition du personnel :

MM. Cazin,

D r Rochefort,

Galy-Patit et Constans, préparation des plaques

Legros, au chronomètre.

Albertini, au volet du miroir (remplacé par M. Delaunay si c'est nécessaire).

Un pêcheur, au ventilateur.

M. Cazin recevra d'avance les heures des quatre contacts et l'angle de position des plaques de quart d'heure en quart d'heure, telles que les indiquera le chronomètre 267.

A moins d'un avis spécial des équatoriaux, les épreuves photographiques commenceront à 7h2mn, limite approchée de l'incertitude annoncée par Greenwich. Pendant tout le temps de l'entrée, c'est-à-dire de 7h2mn à 7h40mn, on prendra le plus d'épreuves possible par zone, en ayant soin d'intercaler au milieu de cette série quelques épreuves du Soleil entier et une ou deux épreuves sur collodion ou tannin.

Si le temps est beau, on pourra ralentir un peu l'opération six à huit minutes après le deuxième contact ; mais, si le temps est incertain, comme c'est malheureusement probable il sera indispensable

de prendre le plus d'épreuves possible, chaque fois que le Soleil sera assez visible pour permettre d'obtenir une image.

L'expérience que nous avons acquise du climat de Saint-Paul paraît démontrer qu'il y aurait grand danger à se tenir à la recommandation de la Commission, relativement à l'emploi exclusif des plaques daguerriennes iodées ; on devra donc avoir recours aux procédés qui ont été préalablement étudiés avec soin et qui donnent le maximum de sensibilité, soit le brome pour les plaques daguerriennes, soit le collodion humide et le tannin, toutes les fois qu'on jugera nécessaire d'augmenter la sensibilité des épreuves, et l'on en fera inscrire le motif sur le registre des observations.

Pendant la durée du passage, il sera intercalé, à intervalles à peu près égaux, des épreuves sur collodion à raison d'une plaque sur quatre ou cinq environ.

La sortie commencera à 11 heures et finira à 11h36mn ; pendant tout ce temps, on fera, comme pour l'entrée, le plus grand nombre d'épreuves possible, en intercalant deux ou trois épreuves de Soleil entier et au collodion. Le chronomètre 267, Jacob, réglé sur le temps moyen du lieu, sera placé dans la cabane photographique. L'assis tant Legros notera l'heure évaluée aussi exactement que possible jusqu'aux dixièmes de seconde de chaque épreuve obtenue, avec son numéro d'ordre annoncé à haute voix par Galy-Patit, chargé de la préparation des plaques ; il notera également de demi-heure en demi-heure le thermomètre du tube de la lunette.

Il sera tenu par Constans un deuxième registre conforme à celui qu'a préparé M. Cazin, où seront indiqués par colonnes distinctes tous les détails de préparation des plaques, d'ouverture de l'écran, d'angle d'orientation du porte-plaques et de durée de pose et de toutes les conditions particulières qui seront supposées pouvoir influencer les résultats.

Un des pêcheurs du capitaine Hermann, placé près et en dehors delà cabane, fera continuellement tourner, par une ouverture pratiquée dans la cloison, la manivelle du ventilateur de la lunette photographique.

Des instructions détaillées de la sorte sont également rédigées pour les observations directes et chacun des instruments mobilisés. Mouchez et son équipe auront, avant la date fatidique du 9 décembre, fait tout ce qui était possible pour assurer le succès de leur mission. Une chose restait en dehors de leur contrôle : la météo et les conditions atmosphériques autour de l'île.

Mouchez savait fort bien que de pessimistes prévisions avaient été établies pour son entreprise. Ses propres consultations laissaient finalement assez peu d'espoir : « Tous les renseignements que j'avais recueillis soit auprès de Mr R. Scott, le savant chef météorologiste de Londres, soit auprès des marins de la Réunion, étaient unanimes pour établir qu'à Saint-Paul les chances de ciel pur pour le 9 décembre étaient absolument minimales, 8 à 10% au plus »⁷⁵. Les semaines passées sur l'île en octobre et novembre semblent indiquer que mêmes ces maigres chances ont été surestimées : « Je commence à concevoir de sérieuses inquiétudes sur la possibilité de faire à Saint-Paul des observations astronomiques de quelque valeur et surtout celles du passage de Vénus, car les conditions

⁷⁵ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

climatologiques me paraissent pires encore que ne le disaient les renseignements recueillis ; pendant les plus beaux temps le zénith ne reste jamais découvert plus d'une demi-heure ou une heure de suite. Il est presque continuellement embrumé même quand le ciel est dégagé tout autour de l'horizon⁷⁶ ». Le Dr Rochefort ne dit pas autre chose dans son récit : « Saint-Paul, si favorable comme position géographique à l'observation du passage de Vénus, est peut-être le lieu au monde le moins propice aux observations astronomiques⁷⁷ ».

Un seul espoir les soutenait : la ferme croyance des pêcheurs malgaches qui les accompagnent dans l'influence favorable de la Lune ; il y avait, selon eux, une courte embellie le jour de la nouvelle Lune – ce que Mouchez avait pu constater lors des deux lunaisons précédentes. Malheureusement, les choses semblent empirer à l'approche du moment attendu :

- le 6 décembre, « le baromètre qui était à 770 commence à descendre ; le ciel est sombre dans toute l'étendue de l'horizon ;
- le 7, vent fort, pluie et brouillard ;
- le 8, veille du passage, la baisse du baromètre continue (751) ; la pluie est torrentielle et incessantes, la mer fort grosse⁷⁸ »

Le temps ne permet pas la répétition générale de l'observation, avec tout le personnel à son poste. Mais le commandant n'abdique pas encore tout à fait : « Cependant, bien que tout me paraisse absolument et irrévocablement perdu, nous n'en continuons pas moins nos dispositions et nous terminons à minuit la préparation de nos 250 plaques daguerriennes, que nous ne pouvions polir et sensibiliser qu'au dernier moment⁷⁹ ». Quand Mouchez et ses collaborateurs vont se coucher, ce soir-là, le baromètre affiche 749 et les cabanes résistent à peine à la violence du vent. « Nous serons cependant à notre poste demain à 5 h 30 selon l'ordre du jour⁸⁰ ».

Le passage de Vénus dans l'œil du « cyclone »

Le vent change de direction vers 4 heures du matin, soufflant désormais du nord-ouest et amenant une amélioration inespérée du temps. A 6 h 30, le baromètre est toujours bas – 749, ce qui fait penser que l'équipe se trouve au centre d'un cyclone⁸¹ et laisse espérer quelques heures de beau temps. Chacun se retrouve à son poste :

- Mouchez à la lunette de 8 pouces ;
- Turquet de Beaugard à l'équatorial de 6 pouces ;
- Cazin et Rochefort à la photographie ;
- Vélain à la petite lunette du dépôt (3 pouces) sur le sommet de l'île.

⁷⁶ *Ibid.*

⁷⁷ Rochefort E., *Passage de Vénus sur le Soleil, Mission de Saint-Paul*, op. cit.

⁷⁸ *Ibid.*

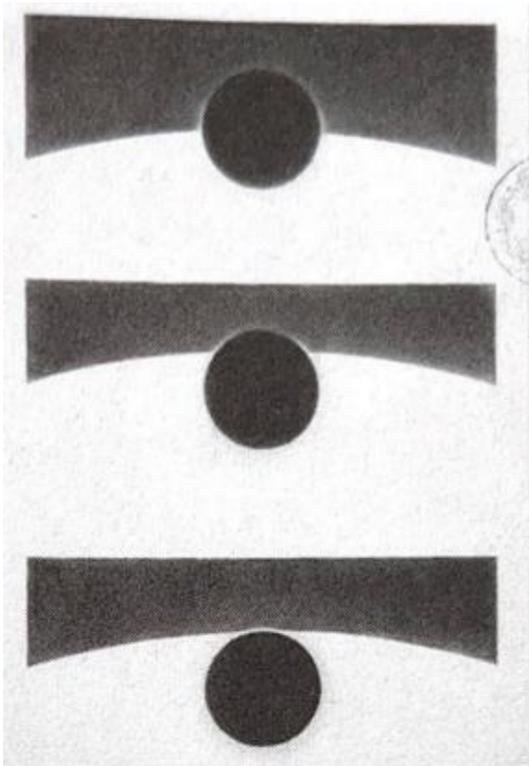
⁷⁹ Mouchez E., *Discours devant la Séance publique annuelle des cinq académies*, op. cit.

⁸⁰ Mouchez R., *Ernest Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892*, op. cit.

⁸¹ Le terme de cyclone était utilisé à l'époque ; on parlerait aujourd'hui de dépression extra-tropicale

Le premier contact fut manqué : une brève éclaircie permet à Mouchez d'apercevoir « vers 7 h 6' 52'', la première impression d'une irrégularité sur le bord du Soleil⁸² ». Les nuages masquent la progression de Vénus jusque vers 7 h 18 mn, heure à partir de laquelle il sera possible de suivre les phases du passage. Dès que possible, Mouchez aligne le fil du micromètre sur la ligne des centres afin de mesurer la distance des bords.

Une minute plus tard se manifeste un phénomène décrit par quelques astronomes au XVIII^e siècle : l'apparition d'une auréole autour de Vénus, alors que la planète n'est pas entièrement entrée sur la Soleil.



Apparences successives de l'auréoles de Vénus avant le premier contact, d'après Mouchez, in Marlot, *Les passages de Vénus*

« Vers 7 h 19 mn, pendant que je suis occupé à prendre des mesures, j'aperçois subitement le disque entier de Vénus, dont la moitié environ, encore hors du Soleil, est dessinée par une pâle auréole plus brillante près du Soleil, et surtout du côté droit, que vers le sommet de la planète ; le disque de la planète est très sensiblement plus noir que le fond du ciel sur lequel elle se projette; le ciel est d'une très-grande pureté, les bords du Soleil sont fort nets ; la lunette parfaitement au point donne une magnifique et très-pure image de tout ce phénomène⁸³ ».

Ce halo lumineux entourant la planète est un indicateur de la réfraction de la lumière à travers une atmosphère. Il s'agit d'une confirmation particulièrement nette des observations de Lomonossov en 1761 et de son hypothèse de la présence d'une atmosphère vénusienne.

Mouchez profite de la netteté de l'image pour prendre des mesures du diamètre de Vénus, dans des conditions loin d'être idéales : il faut imaginer sa grande lunette secouée par le vent et soumise à des oscillations qui ne lui permettent pas de garantir une précision des mesures à moins de 0,3'' près.

« Pas de goutte noire à la lunette de 8 pouces, mais le halo autour de Vénus perturbe l'appréciation du moment du second contact. J'ai estimé que le contact a pu arriver à 7h 39' 0'',8 ? et qu'il était certainement passé à 7 h 39' 7'',8. J'ai fait enregistrer 7 h 39' 2'',8 comme étant le moment où le contact m'a paru le plus probable, préférant instinctivement cette heure à la moyenne des deux extrêmes, sans raison bien définie. L'atmosphère était d'une grande pureté et les images d'une netteté parfaite. L'incertitude probable doit être de 3 s environ⁸⁴ ».

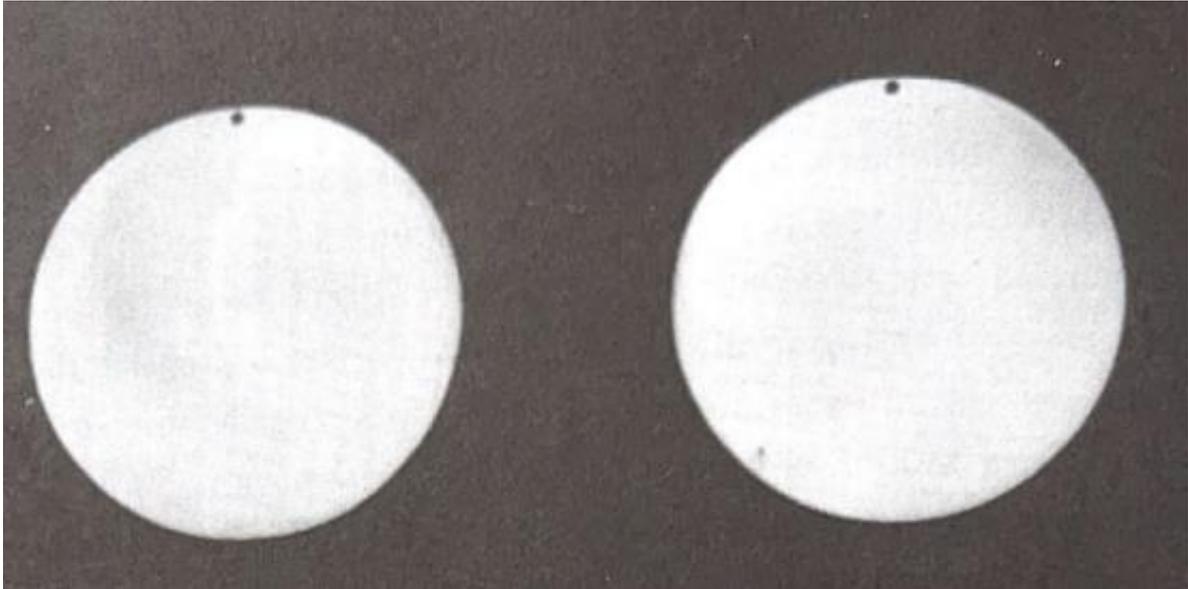
⁸² Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

⁸³ *Ibid.*

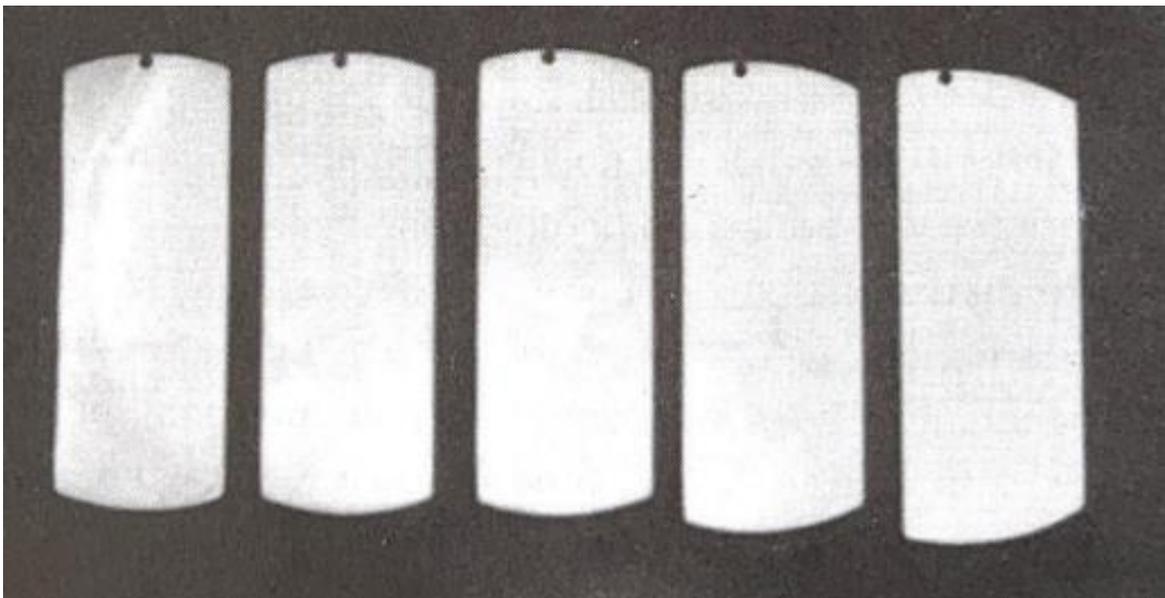
⁸⁴ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

Quel protocole d'observation permet de consigner ces informations ? Pendant que le secrétaire égrène les secondes lues sur la montre, l'observateur commente ses impressions : à telle seconde, le contact n'est certainement pas commencé, à telle autre il l'est peut-être et, à un autre instant donné, il est certainement passé⁸⁵.

Par un invraisemblable retournement des conditions météo, le parcours de Vénus est suivi sans interruption jusqu'à 11 heures, permettant d'accumuler les épreuves photographiques : 500 bonnes épreuves pendant ces quatre heures, la plupart d'entre elles consistant en images partielles (ou photographie par bandes).



Plaque photographique de Saint-Paul, probablement à l'instant du premier contact interne : images solaires dites « complètes », in Marlot, *Les passages de Vénus*



Images solaires dites « par bandes », in Marlot, *Les passages de Vénus*

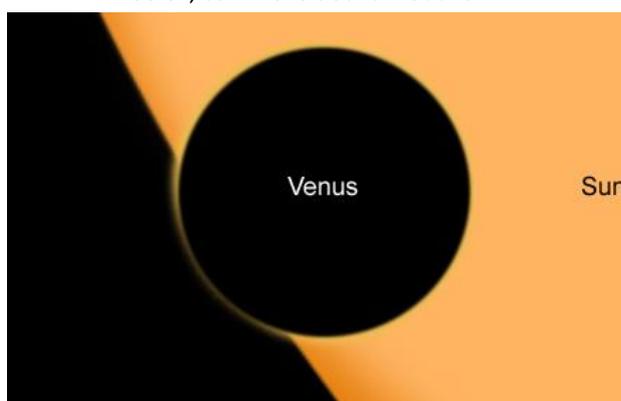
⁸⁵ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892, op. cit.*

Le commandant Mouchez ne s'autorise aucun répit entre les contacts internes. Il multiplie les relevés et mesures, dans des conditions toujours compliquées : alors que le vent continue à secouer sa lunette, il se consacre :

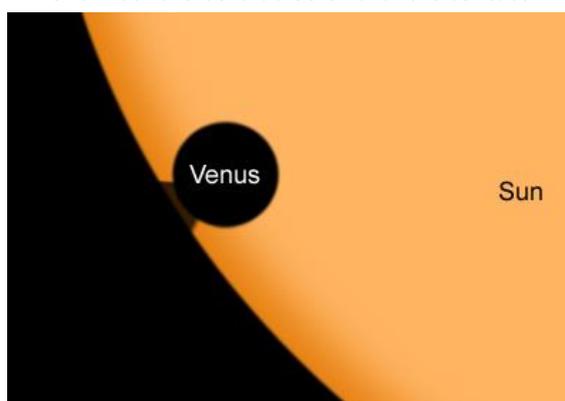
- à des séries de mesures micrométriques de la distance des bords voisins : 17 mesures rien qu'entre 7 h 42' 39'' et 7 h 54' 20'' ; 60 pointés entre 10 h 2' et 10 h 58' ;
- à des séries de mesures micrométriques de la distance des bords opposés ;
- à des séries de mesures directes du diamètre de Vénus.

Le troisième contact se dessine dans des conditions de visibilité toujours aussi nettes : « Vers 11 h 2', j'ai déjà l'impression sur le bord du Soleil de la petite protubérance lumineuse de l'auréole, exactement la même que celle que j'ai vue au deuxième contact. À ce moment le ciel est très pur, les bords des astres d'une extrême netteté, le phénomène est dans tout son éclat 20 ou 30 secondes avant le contact, et je sens que j'aurai encore beaucoup de difficulté pour l'obtenir avec précision. J'essaie de nouveau rapidement l'emploi d'un verre de couleur pour atténuer l'auréole, mais sans succès, et Vénus semble pousser devant elle la partie du bord du Soleil qu'elle devrait couper. [...] Il m'a encore été absolument impossible de saisir aucun phénomène instantané : l'auréole qui paraissait former une légère protubérance du Soleil avant le contact a maintenu la continuité du bord de l'astre après le contact ; il n'y a donc pas eu de rupture de l'anneau, mais bien des phases se succédant par transition insensible, absolument comme au deuxième contact⁸⁶ ». À nouveau, l'instant exact du contact appartient à une fenêtre d'une dizaine de secondes et son adoption relève d'une démarche très subjective de l'observateur. La qualité de la lunette permit de dépasser le phénomène de goutte noire ; elle rendit en revanche perceptible cette auréole qui devint un obstacle à l'identification des contacts : on ne voyait pas de « rupture de l'anneau du Soleil », mais une série continue de phases qui s'enchaînaient jusqu'à ce que l'observateur soit certain que le contact *était* passé.

L'effet de halo de l'auréole, qui « pousse » le bord du Soleil, comme le décrit Mouchez



La goutte noire produit l'effet inverse : Vénus « se fond » dans le bord du Soleil avant le contact



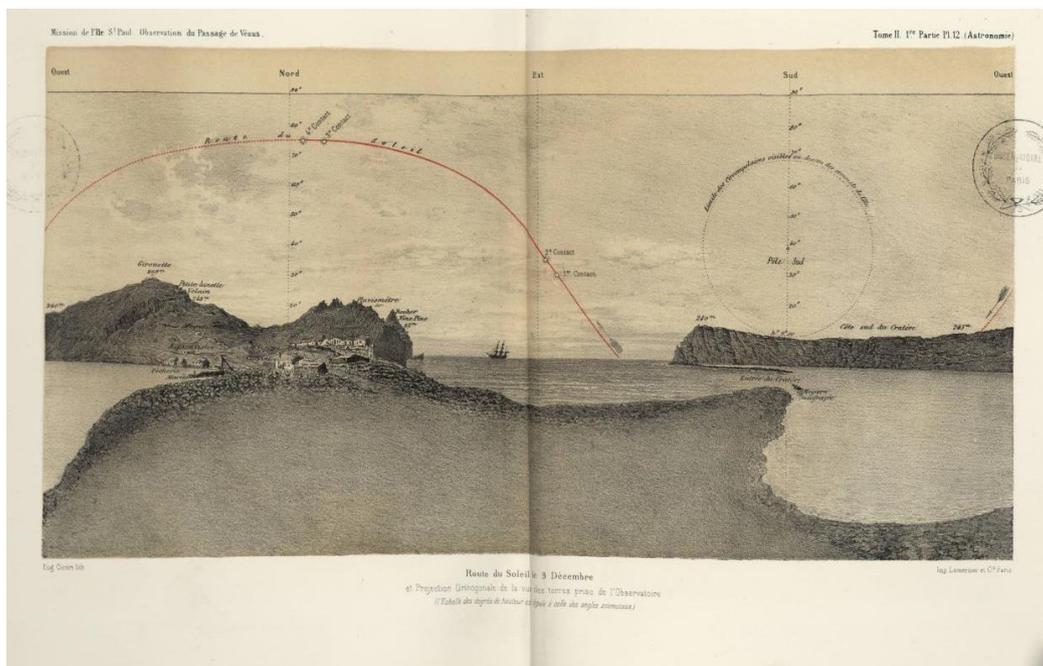
Australian Broadcasting COrportation Website, mai 2012

Le quatrième contact, moins important que les précédents, est à peine aperçu au milieu des nuages qui reviennent sur Saint-Paul. À midi, Mouchez parvient à noter le passage du Soleil au méridien ; quelques minutes plus tard, une pluie torrentielle s'abat sur l'île. Sur la *Dives*, revenue la veille de la

⁸⁶ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

Réunion, le commandant fait hisser le drapeau national et saluer de cinq coups de canon le succès de la mission, « succès inespéré de la mission française de l'île de Saint-Paul », peut-on lire dans le *Rapport de la commission du passage de Vénus*.

Mouchez reste sur le pont jusque tard le soir, guettant les éclaircies pour observer des étoiles et régler ses chronomètres. L'entrée du 9 décembre de son journal s'achève ainsi : « Minuit et demi. La pluie fouette mes vitres avec violence. Il vente le diable. Quelle singulière journée !⁸⁷ ».



Route du Soleil le 9 décembre, projection orthogonale de la vue des terres vue depuis l'observatoire, in *Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil, Mission de Saint-Paul, Académie des Sciences*

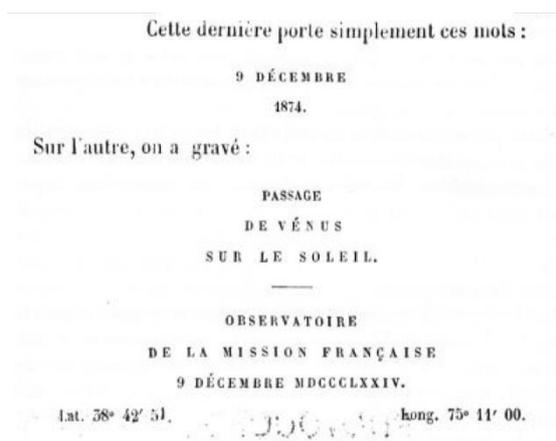
La mission se prolongera encore un mois, le temps de démonter le matériel et procéder aux travaux scientifiques prévus en marge de l'objectif astronomique principal : des sondages dans le lagon de Saint-Paul et des relevés sur l'île voisine d'Amsterdam : les naturalistes y firent des descriptions de la faune et la flore ; Vélain, le géologue de la mission, put faire « une reconnaissance à peu près complète de l'île dont il atteignit le plateau supérieur, que personne ne paraît avoir vu ou décrit⁸⁸ ».

La *Dives* quitte Saint-Paul le 4 janvier au soir. « Un monument simple, mais du moins solide, y gardera le souvenir de la mission française : sur la jetée nord, autour d'un mat de pavillon depuis longtemps planté dans le sol, on a construit, au moyen de galets, une grosse pyramide dans laquelle on a scellé deux pierres faisant face, l'une au nord, l'autre au sud⁸⁹ ».

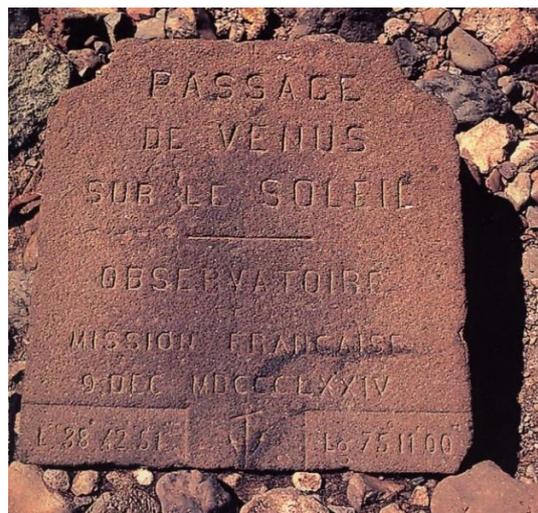
⁸⁷ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892*, op. cit.

⁸⁸ Rochefort Dr E., « *Passage de Vénus sur le Soleil, Mission de Saint-Paul* », op. cit.

⁸⁹ *Ibid.*



Rochefort Dr E., « *Passage de Vénus sur le Soleil, Mission de Saint-Paul* »



Crédit : Blog officiel du district des îles Saint-Paul et Amsterdam - TAAF

Le bateau mouilla une dernière fois devant Amsterdam ; Mouchez souhaitait y achever le travail de cartographie initié au mois de décembre. Les trois membres d'équipage débarqués furent bloqués par le brouillard, retranchés pendant trois jours dans une grotte. Les éléments n'avaient décidément été « cléments » qu'à l'occasion du passage de Vénus. Le 20 janvier, la *Dives* avait rejoint Saint-Denis de la Réunion.

« Miraculeux » ou « merveilleux » ?

Succès inespéré, journée singulière... Le choix des épithètes est large mais pas neutre. Peu après son retour en France, le 5 mars 1875, Mouchez présente sa candidature à l'Académie des Sciences – encouragé et soutenu par J.-B. Dumas, l'ancien président de la Commission du passage de Vénus. Il y est élu en juillet ; invité, en octobre, à prononcer un discours lors de la *Séance publique annuelle des cinq académies*, il y fait le récit de son expédition à Saint-Paul. Peu habitué aux usages académiques, Mouchez soumit le texte de son discours à Dumas en le priant d'y apporter les corrections qu'il jugerait utiles. Les deux derniers paragraphes, d'un style romantique, ont sans doute été ajoutés par le secrétaire perpétuel ; quoi qu'il en ait pensé, Mouchez accepta ces additions, à l'exception, toutefois, de l'avant-dernier mot de la dernière phrase. On peut lire, sous la plume de Dumas : « [...] Au commencement de mars l'expédition rentrait en France, heureuse d'avoir pu remplir, à la satisfaction de l'Académie, une mission acceptée avec le profond sentiment du devoir, mais entreprise avec si peu d'espoir de succès, qu'au moment où le phénomène achevait de s'accomplir nous nous demandions si nous n'avions pas été dupes d'un rêve trompeur, au lieu d'être les favoris d'une *miraculeuse* réalité⁹⁰ ».

Avant de soumettre le bon à tirer de son discours, Mouchez prend l'initiative d'écrire à Dumas pour lui signaler ses réserves sur l'emploi de l'adjectif « miraculeuse » et lui annonce qu'il a finalement procédé à son remplacement : « Je ne me suis permis de changer qu'un seul adjectif aux corrections que vous avez eu la bonté de m'indiquer parce qu'il me trahissait un peu trop auprès de mes anciens amis. Un

⁹⁰ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892, op. cit.*, p. 144

de mes anciens camarades auquel j'ai lu ma notice m'a arrêté net à l'un des derniers paragraphes en m'en faisant compliment mais en me disant qu'il n'était pas de moi. Très surpris de cette perspicacité, je lui en demande le motif et il me cite, entre autres, le mot « miraculeux » parce qu'il connaît depuis longtemps mon opinion sur l'abus si regrettable que l'on fait aujourd'hui des miracles dans le Midi de la France. Comme ce mot pourrait prendre aux yeux de certaines personnes une portée que je ne voudrais pas lui donner et qui trahirait trop mon style ordinaire auprès de ceux qui me connaissent depuis longtemps, je l'ai remplacé par « merveilleux » qui ne change en rien l'harmonie de la phrase⁹¹ ».

Mais ces impressions s'évanouirent vite en même temps que la silhouette de l'île, qui disparut bientôt dans son éternel enveloppe de brouillard et de tempêtes; nos regards, devant la marche du navire trop lente à notre gré, voyaient déjà poindre au loin l'image lumineuse de la patrie, la traversée de retour fut rapide; au commencement de Mars l'expédition rentrait en France; heureuse d'avoir pu remplir à la satisfaction de l'Académie une mission acceptée avec le profond sentiment du devoir, mais entreprise avec si peu d'espoir de succès qu'au moment où le phénomène achevait de s'accomplir, nous nous demandions si nous n'avions pas été dupes d'un rêve trompeur au lieu d'être les favoris d'une merveilleuse réalité.



Texte du discours de Mouchez devant les cinq Académie, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms 1139-2 (2)

L'Académie des Sciences le félicite pour son courage et son patriotisme avant de se tourner vers les enjeux scientifiques de ses observations : « L'Académie pressent déjà l'intérêt qui s'attache aux résultats scientifiques que vous apportez ; [...] nous savons que le temps n'a pas favorisé également nos courageux voyageurs : la science fera la part de ce qui revient à chacun et tiendra compte des obstacles qui se sont produits au moment des observations⁹² ».

Nous avons vu les obstacles et les observations ; qu'en est-il des résultats ? De la science produite par l'agrégation des mesures ? Et des promesses de la photographie ? Des dizaines d'observatoires temporaires ont fleuri autour du monde en cet automne 1874 ; cette somme d'entreprises nationales a-t-elle résolu définitivement la question de la parallaxe solaire ou confirmé les réserves de Le Verrier sur l'utilité des expéditions au long cours ?

La fin annoncée de la méthode de Halley ?

Les trois missions françaises de l'hémisphère nord, Pékin, Saïgon et Nagasaki, bénéficièrent de conditions bonnes, sans être idéales. La mission sur l'île Campbell fut un échec et les observateurs à Nouméa n'ont pu obtenir qu'une centaine de photos jugées valables. La comparaison entre deux stations situées à des latitudes très éloignées n'était finalement possible qu'à partir des observations de Mouchez ; la quête de la parallaxe « française » souhaitée par Hervé Faye s'annonçait compromise.

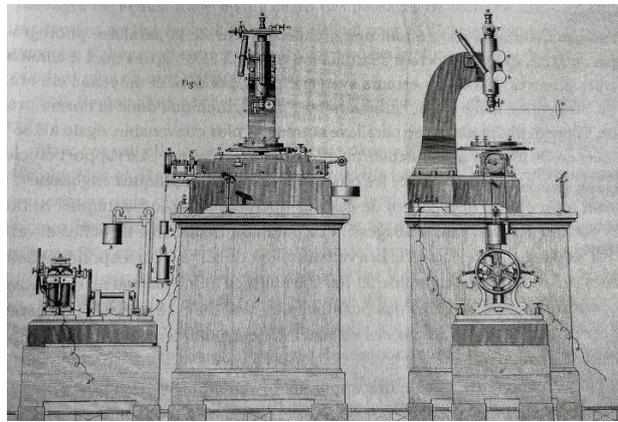
⁹¹ *Ibid*, p. 146

⁹² CRhAS, volume 80, 1874, p. 612.

Il fallait néanmoins entreprendre le long travail de recensement et de confrontation des observations, et, en parallèle, s'atteler à la laborieuse tâche de mesurer les plaques daguerriennes. L'Académie des Sciences rendit public l'ensemble des récits et des observations entre 1876 et 1890, en neuf copieux volumes. Mais une valeur indiscutable de la parallaxe tardait à émerger : « Après bien des tergiversations cependant, les Français s'accordèrent sur une valeur nationale de la parallaxe comprise entre 8,78'' et... 9,17'', Charles André, quant à lui, trouva 8,88'' ou 8,82'' en se basant sur les seules observations visuelles obtenues à Nouméa et à Saint-Paul⁹³ ».

Mais la photographie n'avait-elle pas promis d'apporter une objectivité qui permettrait de définitivement trancher le sujet ? L'Académie chargea une sous-commission (de la Commission du Passage) d'analyser les plaques daguerriennes, c'est-à-dire de sélectionner les clichés et de procéder aux mesures micrométriques.

Sur les 51 plaques sélectionnées pour la netteté des contours, deux personnes différentes relevèrent, à l'aide d'un microscope spécial, les écarts angulaires : « L'on pointa chaque plaque en ayant soin de mesurer les limbes de Vénus et du Soleil en quatre points cinq fois de suite, ce qui représenta au total la bagatelle de 33 840 relevés angulaires micrométriques... et de très nombreuses années de travail⁹⁴ ».



Machine micrométrique pour la mesure des épreuves photographiques, in Marlot C., *Les passages de Vénus*

Ces données furent publiées en 1882, mais les calculs se prolongèrent pendant plusieurs années. Les annonces se succédèrent entre 1875 et 1880 pour converger vers la valeur admise de la parallaxe *photographique française* :

- Obrecht : entre 8,77'' et 8,83'' ;
- Bouquet de la Grye : 8,86'' ;
- Obrecht : 8,80''.

On se trouvait donc, cinq ans après le passage, avec des valeurs *nationales* de la parallaxe. Les communautés scientifiques travaillèrent en effet sur leurs mesures, chacune de leur côté après 1874 ; les résultats d'observation n'étaient pas toujours comparables (les Allemands, par exemple, avaient été les seuls à utiliser systématiquement des héliomètres) et les gouvernements qui avaient beaucoup investi dans les expéditions en attendaient une retombée nationale. Ainsi en 1877, après trois ans de silence des astronomes anglais, le Parlement exige des comptes au sujet de l'expédition scientifique la plus chère jamais menée jusque-là ; les communications ne sont pas plus convergentes qu'en France :

- Airy calcule une parallaxe de 8,76'' ;
- Stone, avec les mêmes données, obtient 8,88'' ;

⁹³ Marlot C., *Les passages de Vénus*, op. cit.

⁹⁴ *Ibid.*

- Tupman travaille sur les plaques photographiques et calcule 8,08'', ramené à 8,17''⁹⁵.

Les Américains ne publièrent pas de valeur de parallaxe sur la base des observations directes de 1874. Une étude de 213 plaques photographiques propose une parallaxe de 8,883'' (une valeur assez médiocre qui n'empêche pas de jeter le discrédit sur les méthodes européennes : « Photography, as practised by most of the European parties was a total failure », peut-on lire dans *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century* d'Agnes Clerke (1885).

Des crédits furent néanmoins votés pour relancer des campagnes d'observation à l'occasion du second passage de 1882. L'enjeu scientifique paraissait moins évident après les relatives déceptions de 1874, mais il aurait difficile de négliger ce nouveau rendez-vous avec Vénus, alors que le public s'était passionné pour l'événement. Dans son premier numéro, la nouvelle revue de Camille Flammarion, *L'Astronomie*, révèle autant les préparatifs de 1882 que les limites de 1874 :

« La France se dispose, comme la plupart des autres nations, à envoyer de nouveau plusieurs missions observer le passage de Vénus qui aura lieu le 6 décembre de cette année. Bien que l'observation du passage de 1874 n'ait pas donné la parallaxe du Soleil avec toute la précision qu'on pouvait espérer des instruments modernes, on ne pouvait pas négliger d'observer un phénomène qui ne se produira plus que dans cent vingt-deux ans (le 7 juin 2004). La France enverra huit missions en Amérique : quatre dans l'hémisphère nord et quatre dans l'hémisphère sud, à peu près sur le même méridien, les deux groupes étant aussi éloignés que possible l'un de l'autre [...] Le phénomène sera observé de trois manières différentes : 1) par observation directe des contacts ; 2) par l'observation à l'aide de prismes à double réfraction et par des distances micrométriques ; 3) par la photographie. L'emploi de la photographie n'a donné nulle part de bons résultats en 1874. Les Anglais, les Allemands, les Russes sont décidés à ne plus l'employer en 1882 ; ils jugent que ce serait un inutile surcroît de dépense ; mais les physiciens et quelques astronomes espèrent qu'on pourra mieux réussir cette année⁹⁶ ».

Les résultats de cette campagne furent, encore une fois, publiés longtemps après l'événement :

- en 1888, Harkness, sur la base de photographies américaines, annonce une valeur préliminaire de 8,847'' ;
- en 1890, la parallaxe anglaise est estimée à 8,83'' ;
- en 1895, les Allemands rendent publiques les résultats de leurs mesures héliométriques de 1874 et 1882 : de 8,88'' à 8,90'' ;
- la valeur définitive de la parallaxe française s'établit en 1899 à 8,80''.

Au milieu de toutes ces annonces, les Américains Harkness et Newcomb reprirent leurs calculs et, avec des méthodes sensiblement différentes, aboutirent à des valeurs très proches : 8,795'' pour le premier, 8,794 pour le second. La crédibilité de leurs auteurs était reconnue, mais il semblait difficile de trancher définitivement entre toutes les estimations et méthodes employées. C'est donc, assez naturellement, que l'on clôt le chapitre de la détermination de la parallaxe à l'aide des

⁹⁵ Meadows A.J., "The transit of Venus in 1874", *Nature*, vol. 250, 30 août 1974.

⁹⁶ *L'Astronomie, Revue d'astronomie populaires, de météorologie et de physique du globe*, 1882.

passages de Vénus pour se tourner vers d'autres approches, moins coûteuses et peut-être moins difficiles à mettre en œuvre.

Méthode / Auteur	Parallaxe (en ")
Parallaxe de l'astéroïde Flora, Galle - 1875	8,873
Parallaxe de Mars, Gill - 1881	8,78
Passages de Vénus 1874 et 1882	8,79
Parallaxe de l'astéroïde Eros, Hinks - 1900	8,806
Parallaxe de l'astéroïde Eros - 1941	8,79
Mesure Radar, NASA - 1990	8,79415

Sur la question de la méthode de Halley, le dernier mot appartient à Ernest Mouchez :

« L'impression générale, c'est que l'observation de l'heure des contacts pour l'application de la méthode de Halley ne semble pas donner la précision qu'on aurait pu supposer ; les phénomènes physiques qui altèrent le contact géométrique font perdre tout l'avantage qu'on espérait de cette méthode, consistant à remplacer la mesure d'un arc par l'évaluation de l'heure d'un phénomène supposé instantané. »

« Nous étions cependant dans des circonstances exceptionnellement favorables pour obtenir d'excellents résultats, nous trouvant précisément au moment du passage au centre d'un cyclone qui avait purgé l'atmosphère et donné aux images des astres une netteté tout à fait exceptionnelle. »

« Notre grande lunette de 8 pouces donnait des images parfaitement pures avec un grossissement de cent vingt fois ; le Soleil, élevé de 30 et 76 degrés au-dessus de l'horizon de la mer, se présentait dans les meilleures conditions possibles et cependant, malgré ces circonstances si favorables et l'extrême attention que j'ai concentrée sur la marche du phénomène, il m'est impossible d'affirmer le moment du contact à plus de trois ou quatre et peut-être cinq secondes près. Cela tient non seulement à la lenteur de la marche relative des deux astres, qui est de 2 secondes d'arc par minute de temps environ, mais surtout aux phénomènes lumineux, dus sans doute à des causes très-variées, qui surviennent lorsque la distance des bords est plus petite que 1 seconde d'arc. »

« Enfin il faut ajouter à ces causes d'erreur l'état mental et physiologique de l'observateur, qui dans un moment si critique, si longuement attendu, peut subir certaines influences momentanées ou être victime d'illusions provenant d'idées préconçues⁹⁷ »

Épilogue

À son retour de Saint-Paul, Mouchez met à profit sa notoriété pour développer un projet qui lui tient à cœur : renforcer l'instruction astronomique dispensée dans les écoles navales. Il s'agit avant tout de « disposer d'un petit observatoire pour consolider la formation en astronomie des officiers de la Navale, jugée par quelques officiers et professeurs de l'École trop superficielle et non maîtrisée par les aspirants au bout des deux périodes de neuf mois passés à l'école de Brest⁹⁸ ». Il est soutenu dans son

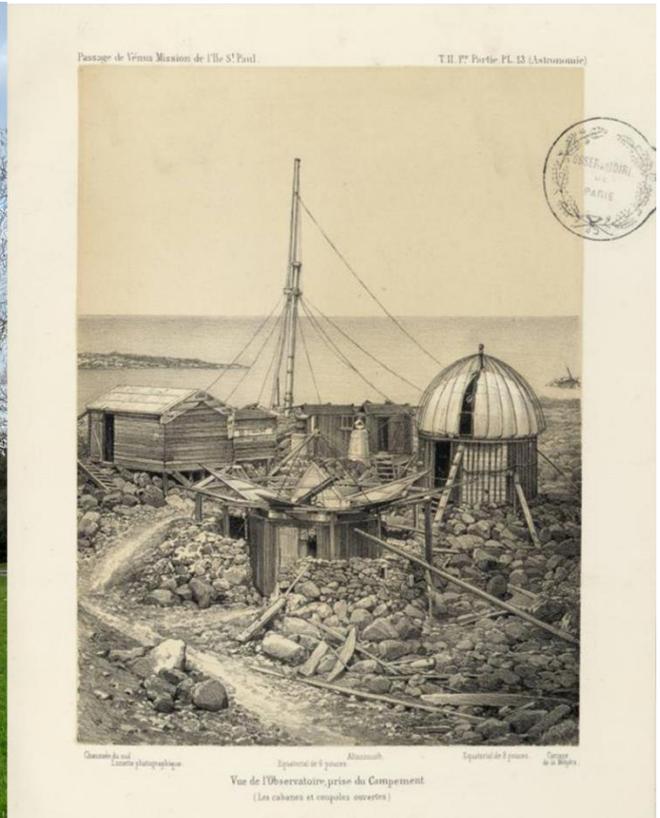
⁹⁷ Mouchez E., *Passage de Vénus sur le soleil du 9 décembre 1874 : mission de l'île Saint-Paul*, op. cit.

⁹⁸ Boistel G., « Hervé Faye et Ernest Mouchez, ou l'astronomie française entre science et politique à la fin du XIX^e siècle », *Bulletin de la SABIX*, 2014.

entreprise par Hervé Faye, président du Bureau des Longitudes ; il dispose également d'appuis au sein de l'Académie des Sciences qu'il rejoindra rapidement. Dès avril 1875 – un mois après son retour, il obtient de l'Académie de pouvoir utiliser le matériel (instruments et petites structures) emporté à Saint-Paul. L'école des hautes études astronomiques ouvrira ses portes en octobre 1875, au sud-ouest du parc Montsouris. La coupole visible aujourd'hui près de l'entrée sud-ouest du parc était du voyage de 1874.



Photo E. Lageat



Crédit : IMCCE

Il n'en a pas pour autant terminé avec ses obligations vis-à-vis de la Marine : il repart ainsi achever la mission du relevé hydrographique de la côte d'Algérie, travail deux fois interrompu déjà. Il en revient en 1877 et compte alors quarante années de service. Envisage-t-il de s'investir dans la politique ? De poursuivre sa carrière militaire ? De se consacrer à l'école d'astronomie de Montsouris ? « Alors, comme à Saint-Paul, une brèche s'ouvrit dans le sombre horizon : la direction de l'Observatoire de Paris devint vacante par la mort d'Urbain Le Verrier⁹⁹ », en septembre 1877. La nomination d'un successeur, en ces temps de forte activité politique, prit dix mois. Mouchez suit la situation de près et se déclare candidat en mai 1878 : « Dans l'impossibilité de combler le grand vide laissé par l'illustre astronome que nous venons de perdre¹⁰⁰, on pouvait se proposer du moins pour la direction de l'Observatoire d'utiliser l'esprit d'ordre de travail et de dévouement que je puis avoir acquis par quarante années de service dans la Marine¹⁰¹ ». À la suite d'une « campagne » bien relayée par la presse face à un

⁹⁹ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892*, *op. cit.*

¹⁰⁰ Mouchez détestait Le Verrier

¹⁰¹ Boistel G., « Hervé Faye et Ernest Mouchez, ou l'astronomie française entre science et politique à la fin du XIX^e siècle », *op. cit.*

concurrent de l'Académie des Sciences, il est nommé directeur de l'Observatoire par le ministre de l'Instruction publique en juin 1878. Il le restera jusqu'à sa mort, le 25 juin 1892 – et amiral quelques jours avant.

Évoquer l'administration et l'héritage de Mouchez à l'Observatoire est un sujet en soi : il est notamment à l'initiative, avec l'astronome russe Othon Struve, du projet de la Carte photographique du Ciel, qui fut lancé lors du congrès de Paris en 1887. Un académicien lui annonçait, en 1875 : « Vous aurez beau faire, vous êtes pour longtemps et peut être pour toujours le héros du passage de 1874¹⁰² ». C'est plus certainement pour la direction de l'Observatoire et la Carte du Ciel qu'il restera dans les mémoires, en témoigne la nécrologie du Bulletin Astronomique de juillet 1892 : « La grande œuvre de l'amiral, son plus beau titre de gloire aux yeux de la postérité, c'est sa splendide conception de la Carte photographique du Ciel. Les progrès réalisés en matière de photographie céleste, par MM. Paul et Prosper Henry, lui avaient fait entrevoir la possibilité d'une pareille entreprise ; il s'en fit le promoteur et l'apôtre ardent. Il s'agissait de faire en quelques années avec le concours d'une dizaine d'observatoires, la carte complète de la voûte céleste, comprenant jusqu'aux étoiles les plus faibles, vaguement soupçonnées à œil, aidé du secours d'un puissant d'instrument ».

Il légua néanmoins à l'Observatoire un souvenir du passage de Vénus inscrit au Patrimoine, sous la forme d'une allégorie du passage de Vénus, commandé à Dupain, réalisé en 1886.



Crédit : IMCCE

¹⁰² *Ibid.*

Bibliographie

Ouvrages

Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil, Didot Frères, 1876-1885

Arlot Jean-Eudes et al., *Le passage de Vénus*, EDP Sciences, 2004

Blachère Camille, *Le ciel commence au-delà des mers. Savoirs et pratiques astronomiques et expéditions extra-européennes au XVIIIe siècle*, thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 2021

Clerke Agnes, *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century*, Sattre Press, 1900

Marlot Christophe, *Les passages de Vénus - Histoire et observation d'un phénomène astronomique*, Vuibert, 2004

Mouchez Robert., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat, 1821-1892*. Paris, Éd. Cujas, 1970

Proctor Richard, *Transits of Venus : a Popular Account of Past and Coming Transits from the First Observed by Horrocks A.D. 1639 to the Transit of A.D. 2012*, Parlux, 2005

Boistel Guy, *L'observatoire de la marine et du Bureau des longitudes au parc Montsouris, 1875-1914*, IMCCE E/dite, 2010

Articles

L'Astronomie, Revue d'astronomie populaires, de météorologie et de physique du globe, n°1, 1882.

La mission de l'île de Saint-Paul pour le passage de Vénus, *Le Monde Illustré*, 3 avril 1875

Le passage de Vénus, *Le Monde Illustré*, 12 décembre 1874

André Charles, « Sur le phénomène dit de la goutte noire et son influence sur l'observation du passage de Vénus », *Journal de Physique*, 1877

Aubin David, « Un passage de Vénus en politique », *La recherche*, Hors-Série n°15, avril 2004

Aubin David, « L'événement astronomique du siècle ? Une histoire sociale des passages de vénus, 1874-1882 », *Cahiers François Viète*, série I – n°11-12, 2006

Boistel Guy., « Des bras de Vénus aux fauteuils de l'Académie : ou comment le passage de Vénus permit à Ernest Mouchez de devenir le premier marin directeur de l'Observatoire de Paris », *Cahiers François Viète*, 11-12, 2006, p. 113-127.

Boistel Guy, « Hervé Faye et Ernest Mouchez, ou l'astronomie française entre science et politique à la fin du XIXe siècle », *Bulletin de la SABIX*, n°55, 2014

Cornu Alfred, « Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil », *Journal de Physique Théorique Appliquée*, 1875

Fizeau Hippolyte, « Programme des opérations photographiques qui doivent être exécutées simultanément dans toutes les stations d'après une décision prise par la commission du passage de Vénus dans la séance du 6 avril 1874 », *Comptes Rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1874

Halley E., « Méthode singulière pour déterminer sûrement la parallaxe du Soleil ou sa distance à la Terre par les observations de Vénus dans le Soleil », *Proceedings of the Royal Society*, 1816

Harkness William, "On the Transit of Venus", *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*, 1882

Le Gars Stéphane, « Image et mesure : deux cultures aux origines de l'astrophysique française », *Cahiers François Viète*, série I – n°11-12, 2006

Meadows A.J., "The transit of Venus in 1874", *Nature*, vol. 250, 30 août 1974.

Puiseux Victor, Comparaison des premières observations du passage de Vénus, *Comptes Rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1875

Radau R., « Le passage de Vénus du 9 décembre 1874 », *La Revue des Deux Mondes*, 15 janvier 1875

Rocheffort E., « Passage de Vénus sur le Soleil. Mission de l'île Saint-Paul », *Archives de Médecine navale*, t. 24, 1875, p. 5-23.

Vélain Ch., « Les îles Saint-Paul et Amsterdam (océan Indien) », *Annales de Géographie*, t. 2, n° 7, 1893, p. 329-354.

Archives de l'Observatoire de Paris

Ernest Mouchez, Discours devant la Séance publique annuelle des cinq académies, 25 octobre 1875, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms1139-2 (1)

Puiseux Victor, Lettre à Ernest Mouchez, 1er mars 1874, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms 1139-1 (8)

Sortie d'ordre, Magasin du Dépôt des Cartes et Plans, 13 juillet 1874, archives de l'Observatoire de Paris (Ms 1139-2)

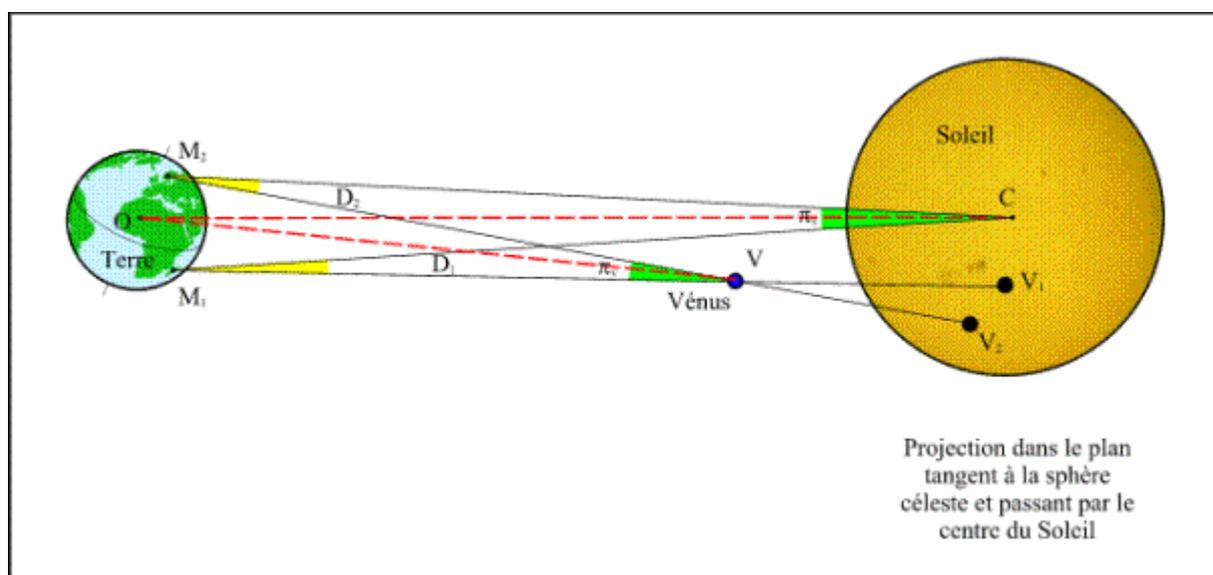
Lettre du ministère de la Marine au gouverneur de la Réunion à Saint-Denis, le 11 février 1874, Archives de l'Observatoire de Paris, Ms 1139-2 (2)

Annexes

Le calcul simplifié de la parallaxe solaire¹⁰³

Hypothèses

Soient deux lieux d'observations M_1 et M_2 , suffisamment éloignés, deux observateurs notent au même instant t la position du centre apparent de la planète Vénus devant le disque solaire, puis à l'aide de ces deux observations, ils déterminent la distance qui joint ces deux centres apparents de Vénus. La mesure de cette distance exprimée en rayon solaire, permet de calculer la parallaxe moyenne équatoriale du Soleil π_0 . Nous verrons que cette mesure est loin d'être simple.



Observation du passage de Vénus depuis deux lieux au même instant

Soient O le centre de la Terre, C le centre du Soleil, V le centre de Vénus et V_1 et V_2 les centres de Vénus sur le disque solaire vus respectivement depuis les points M_1 et M_2 . Notons D_1 et D_2 les angles CM_1V et CM_2V formés par les directions des droites joignant les deux points d'observations aux centres de Vénus et du Soleil et notons π_s l'angle sous lequel on voit le segment M_1M_2 depuis le Soleil et π_v l'angle sous lequel on voit le segment M_1M_2 depuis Vénus. Ces deux angles sont les parallaxes du Soleil et de Vénus vues depuis les lieux M_1 et M_2 (figure 1).

Si les deux points M_1 et M_2 sont quelconques sur la surface terrestre dans la zone de visibilité du passage, il n'y a aucune raison pour que les quatre points M_1 , M_2 , V et C soient dans un même plan. Donc les droites M_1C et M_2V ne sont pas dans le même plan et ne se coupent pas. On ne peut donc pas appliquer les règles de la géométrie plane dans la figure 1.

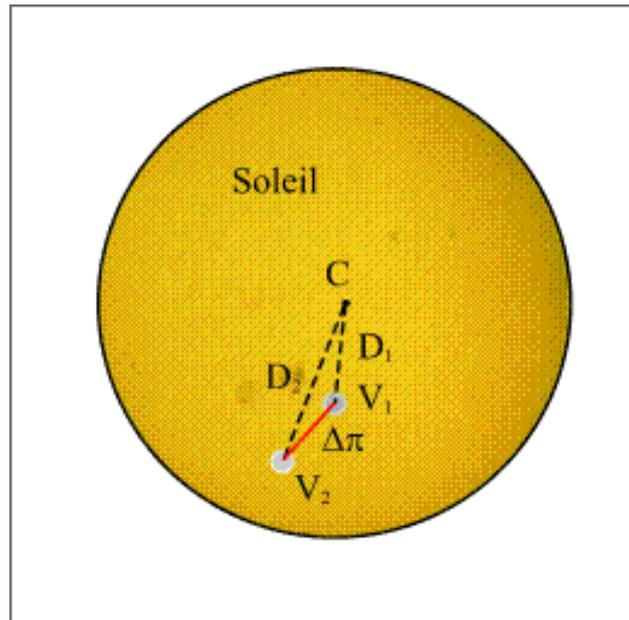
¹⁰³ Extrait de Arlot Jean-Eudes et al., *Le passage de Vénus*, op. cit. pp.102 - 110

Et la relation suivante est fausse :

$$D_1 - D_2 = \pi_s - \pi_v$$

Elle n'est vraie que lorsque les quatre points sont coplanaires.

En revanche la différence des parallaxes est égale à la distance angulaire entre les deux centres apparents de Vénus (figure 2).

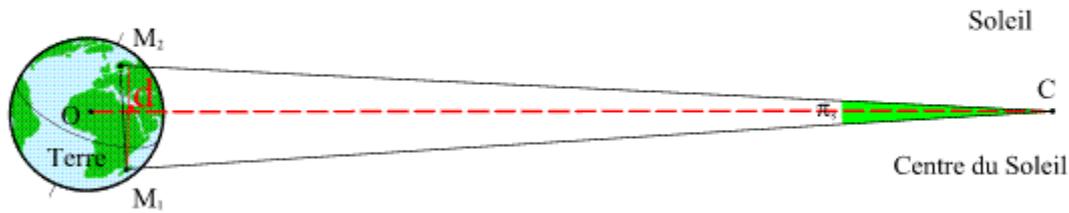


Positions apparentes de Vénus sur le disque solaire

On vérifie bien que cette différence est égale à $D_2 - D_1$ lorsque les quatre points sont coplanaires c'est-à-dire lorsque V_1 , V_2 et C sont alignés.

La valeur que les observateurs vont mesurer est donc la distance D_p entre les centres apparents de Vénus et c'est la relation $\Delta\pi = \pi_v - \pi_s$ qui va nous permettre de calculer les parallaxes.

Pour cela nous allons exprimer les deux parallaxes en fonction des distances entre le centre de la Terre et le centre des deux astres. Soient r_v la distance entre le centre du Soleil et le centre de Vénus et r_T la distance entre le centre de la Terre et le centre du Soleil, la distance Vénus-Terre est donc égale à $r_T - r_v$. Pour exprimer cette parallaxe nous devons également connaître la projection d de la distance entre les deux points M_1 M_2 sur le plan normal à la direction Terre Soleil (figure 3).



Parallaxe solaire relative aux points M_1 et M_2

Comme le rayon terrestre et la distance entre les deux points sont petits par rapport aux distances Terre-Soleil et Terre-Vénus, les parallaxes sont données par les formules approchées suivantes :

$$\boxed{\pi_s = \frac{d}{r_T} \quad \text{et} \quad \pi_v = \frac{d}{r_T - r_V}}$$

En réalité les parallaxes exactes sont données par :

$$\cos \pi_s = \frac{\overrightarrow{CM_1} \cdot \overrightarrow{CM_2}}{\| \overrightarrow{CM_1} \| \| \overrightarrow{CM_2} \|}$$

$$\cos \pi_v = \frac{\overrightarrow{VM_1} \cdot \overrightarrow{VM_2}}{\| \overrightarrow{VM_1} \| \| \overrightarrow{VM_2} \|}$$

On a donc la relation suivante :

$$\pi_v = \pi_s \frac{r_T}{r_T - r_V}$$

Et

$$\Delta \pi = \pi_v - \pi_s = \pi_s \frac{r_T}{r_T - r_V} - \pi_s = \pi_s \left(\frac{r_T}{r_T - r_V} - 1 \right) = \pi_s \frac{r_V}{r_T - r_V}$$

ou encore

$$\boxed{\pi_s = \Delta \pi \left(\frac{r_T}{r_V} - 1 \right)}$$

Pour connaître la parallaxe solaire, il faut donc également connaître le rapport des distances Soleil-Terre et Soleil-Vénus. Or ce rapport peut être calculé grâce aux lois de Kepler.

Le calcul du rapport des distances au Soleil à l'aide des lois de Kepler

La première loi de Kepler nous dit que les planètes décrivent des orbites elliptiques autour du Soleil et que le Soleil occupe un des foyers de ces ellipses. A un instant donné le rayon vecteur r_p joignant le centre du Soleil à une planète p se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$r_p = a_p (1 - e_p \cos E)$$

Où a_p est le demi-grand axe de l'ellipse, e_p est l'excentricité de l'ellipse et E est un angle appelé anomalie excentrique qui permet de positionner la planète sur son orbite.

La troisième loi de Kepler fournit une relation entre les demi-grands axes des orbites et les périodes de révolution des planètes, ainsi pour un même corps central toutes les orbites des planètes qui gravitent autour de ce corps central vérifient la relation suivante :

$$\frac{a_p^3}{T_p^2} = \text{const}$$

Les lois de Kepler décrivent donc les orbites du système solaire à un facteur d'échelle près. L'observation des périodes de révolution des planètes nous donne les rapports des demi-grands axes, ainsi le rapport des demi-grands axes des orbites de Vénus et de la Terre est égal à :

$$\frac{a_T}{a_V} = \sqrt[3]{\frac{T_T^2}{T_V^2}}$$

et à un instant t quelconque le rapport des rayons vecteurs est égal à

$$\frac{r_T}{r_V} = \frac{a_T (1 - e_T \cos E_T)}{a_V (1 - e_V \cos E_V)} = \sqrt[3]{\frac{T_T^2}{T_V^2}} \frac{(1 - e_T \cos E_T)}{(1 - e_V \cos E_V)}$$

Donc les lois de Kepler permettent de calculer le rapport des rayons vecteurs pour un instant t quelconque.

Notre mesure nous permet donc de calculer la valeur π_s , il convient donc maintenant de passer de cette valeur à la valeur de la parallaxe équatoriale moyenne du Soleil π_0 .

Calcul de la parallaxe moyenne du Soleil

La parallaxe équatoriale moyenne du Soleil π_0 est par définition l'angle sous lequel on voit le rayon équatorial de la Terre depuis le centre du Soleil lorsque le Soleil se trouve à une unité astronomique de la Terre.

On a donc la relation suivante :

$$\sin \pi_0 = \frac{R}{a} \quad \text{ou} \quad \pi_0 \approx \frac{R}{a}$$

R étant le rayon équatorial terrestre et a l'unité astronomique.

Or l'équation (1) nous donne la valeur de la parallaxe solaire π_s en fonction de la distance r_T Terre-Soleil et de la projection d de la distance entre les points d'observations sur le plan normal à la direction Terre-Soleil.

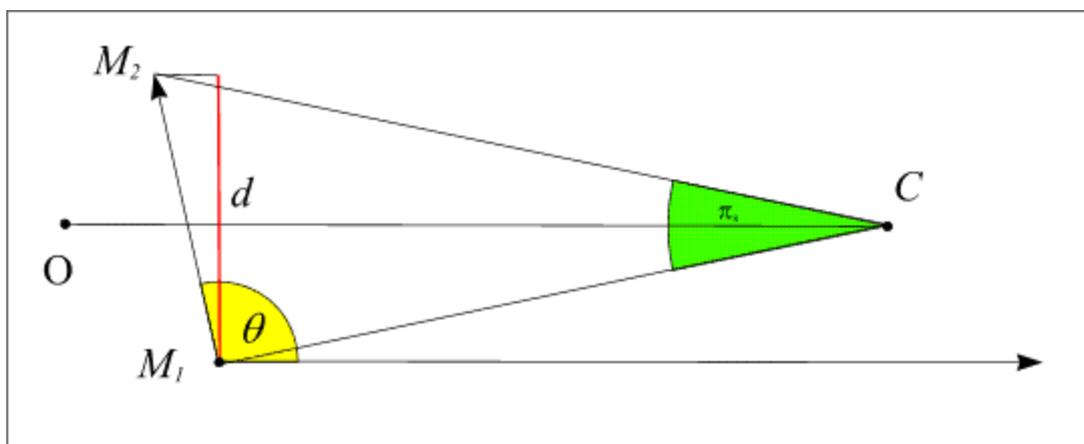
Il suffit d'exprimer cette distance d en rayon terrestre et la distance Terre-Soleil en unité astronomique pour avoir une relation entre π_s et π_0 .

$$\pi_s = \frac{d}{r_T} = \frac{d R a}{R a r_T} = \frac{d a}{R r_T} \pi_0$$

Il ne reste plus qu'à calculer le rapport d sur R . Le rapport a/r_T nous est fourni par la première loi de Kepler (cf. formule 4). Or si l'on fait le produit vectoriel des deux vecteurs $\overrightarrow{M_1M_2}$ et \overrightarrow{OC} on obtient :

$$\overrightarrow{M_1M_2} \wedge \overrightarrow{OC} = \|\overrightarrow{M_1M_2}\| \times \|\overrightarrow{OC}\| \sin \theta$$

Or le produit de la longueur du premier vecteur par le sinus de l'angle entre les deux vecteurs $\|\overrightarrow{M_1M_2}\| \cdot \sin \theta$ est égal à la distance d . De même la longueur et $\|\overrightarrow{OC}\|$ est égale à la distance r_T



Parallaxe solaire relative aux points M_1 et M_2 .

La résolution de l'équation 10 nous donne la valeur de d .

$$d = \|\overrightarrow{M_1M_2}\| \sin \theta = \frac{\|\overrightarrow{M_1M_2} \wedge \overrightarrow{OC}\|}{\|\overrightarrow{OC}\|}$$

Remarque : si la notion de produit vectoriel n'est pas connue, on peut utiliser le produit scalaire des mêmes vecteurs, cela permet de calculer le cosinus de l'angle, puis son sinus par la relation :

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} .$$

Description de ce calcul :

Ce calcul sur les vecteurs demande de connaître les coordonnées cartésiennes des deux points M_1 et M_2 et du centre du Soleil C dans un repère orthonormé (O, x, y, z) centré au centre de la Terre. Nous allons utiliser le repère équatorial apparent géocentrique pour ce calcul.

Ce repère est défini par le plan de l'équateur terrestre à l'instant t de l'observation (plan Oxy) et par la direction du pôle céleste nord de l'axe de rotation de la Terre (Oz). Dans ce repère on peut définir un système de coordonnées cartésiennes (x, y, z) et un système de coordonnées polaires (α, δ, r) les deux angles portent le nom d'ascension droite et de déclinaison. On passe d'un système à l'autre par les relations suivantes :

$$\begin{cases} x = r \cos \delta \cos \alpha \\ y = r \cos \delta \sin \alpha \\ z = r \sin \delta \end{cases}$$

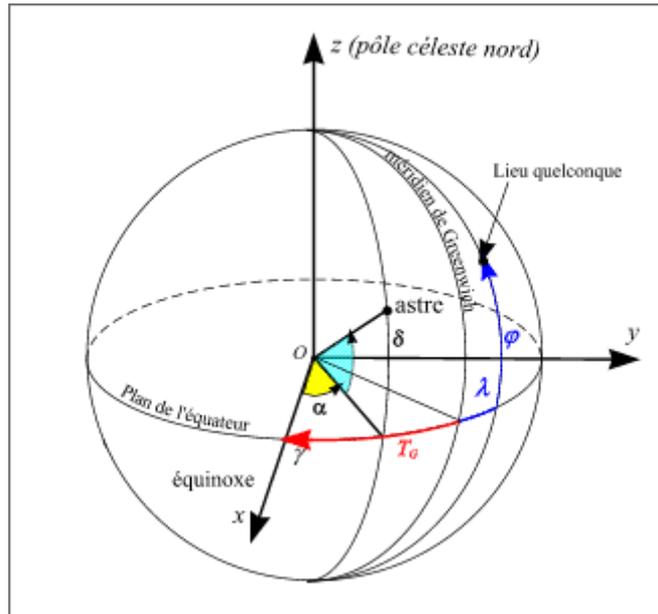
et les relations inverses

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \alpha = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) \\ \delta = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \end{cases}$$

La direction de l'axe Ox à l'instant t est la direction de l'équinoxe de printemps au même instant.

Les éphémérides (c'est-à-dire les lois de Kepler) nous donnent les coordonnées équatoriales géocentriques du centre du Soleil (α, δ) la distance n'est pas connue mais cela n'a pas d'importance car on peut remplacer le vecteur \overrightarrow{OC} par son vecteur unitaire dans l'équation 11.

Le problème le plus complexe est la détermination des coordonnées cartésiennes des points M_1 et M_2 dans ce repère équatorial.



Coordonnées équatoriales géocentriques.

Les positions d'un point de la surface terrestre sont données par sa latitude et sa longitude géographique, la latitude est donnée par rapport à l'équateur terrestre c'est donc une variable angulaire identique à la déclinaison, la longitude est donnée par rapport à un méridien origine (méridien de Greenwich) c'est donc une variable angulaire identique à l'ascension droite, mais qui a une origine différente de celle des coordonnées équatoriales célestes. Il convient donc de connaître à chaque instant l'angle entre la direction de l'axe Ox et la direction de la projection du méridien origine dans le plan de l'équateur (cf. figure 6). Cet angle est lié à la rotation de la Terre sur elle-même, il porte le nom de temps sidéral au méridien de Greenwich et il varie de 360° en 23h 56m 4s (révolution sidérale de la Terre).

Il suffit donc de connaître le temps sidéral à Greenwich T_G à 0h UT le jour du passage pour connaître le temps sidéral à Greenwich à l'instant t puis le temps sidéral en tout point de la Terre de longitude λ .

$$T_G(t \text{ UTC}) = T_G(0h \text{ UTC}) + \frac{360^\circ}{23h56m4s} t$$

On passe du temps sidéral à Greenwich au temps sidéral au lieu M de longitude λ en ajoutant ou en retranchant cette longitude.

Attention le temps sidéral augmente lorsque l'on s'éloigne vers l'est de méridien de Greenwich, il convient donc de bien faire attention à la convention de signe utilisée pour noter les longitudes.

Si **les longitudes sont comptées négativement vers l'est** alors la relation liant le temps sidéral local au méridien du lieu de longitude λ et le temps sidéral au méridien de Greenwich est la suivante :

$$T_\lambda = T_G - \lambda$$

Attention les deux angles doivent être exprimés avec la même unité (degrés ou heures).

Alors les coordonnées cartésiennes d'un point M_1 de coordonnées géographiques (φ_1, λ_1) à l'instant t sont données par :

$$\begin{cases} x_1 = R \cos \varphi_1 \cos(T_4) \\ y_1 = R \cos \varphi_1 \sin(T_4) \\ z_1 = R \sin \varphi_1 \end{cases}$$

La longueur $\|M_1M_2\|$ du vecteur $\overrightarrow{M_1M_2}$ (son module) et ces coordonnées (X, Y, Z) sont donnés par :

$$\begin{aligned} X &= x_2 - x_1 \\ Y &= y_2 - y_1 \\ Z &= z_2 - z_1 \\ \overrightarrow{M_1M_2} &= X\vec{i} + Y\vec{j} + Z\vec{k} \\ \|\overrightarrow{M_1M_2}\| &= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \end{aligned}$$

Le vecteur unitaire \vec{c} de la direction « centre de la Terre-Soleil » est donné par :

$$\begin{cases} x = \cos \delta, \cos \alpha, \\ y = \cos \delta, \sin \alpha, \\ z = \sin \delta, \end{cases}$$

Le produit vectoriel $\overrightarrow{M_1M_2} \wedge \vec{c}$ et son module sont alors :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{M_1M_2} \wedge \vec{c} &= (Yz - Zy)\vec{i} + (Zx - Xz)\vec{j} + (Xy - Yx)\vec{k} \\ \|\overrightarrow{M_1M_2} \wedge \vec{c}\| &= \sqrt{(Yz - Zy)^2 + (Zx - Xz)^2 + (Xy - Yx)^2} \end{aligned}$$

et finalement en utilisant la formule 11, on obtient :

$$d = \|\overrightarrow{M_1M_2}\| \sin \theta = \|\overrightarrow{M_1M_2} \wedge \vec{c}\| = \sqrt{(Yz - Zy)^2 + (Zx - Xz)^2 + (Xy - Yx)^2}$$

Et la parallaxe équatoriale moyenne est donnée par :

$$\pi_0 = \frac{R}{d} \frac{r_T}{a} \pi,$$

Ordre du jour pour le 9 décembre

Pendant les semaines qui précèdent le passage, Mouchez « note les tâches à accomplir, [...] il pense surtout aux oublis qu'il ne faudra pas commettre¹⁰⁴ ». Son ordre du jour est prêt le 1^{er} décembre ; il est affiché et discuté. Ci-dessous, on trouvera la transcription que Mouchez en a faite dans son rapport à l'Académie des Sciences.

Le branle-bas et le déjeuner seront terminés à 5h30mn du matin, et chacun se rendra au poste qui lui a été assigné. Les principales dispositions ayant été prises pendant les journées précédentes, il n'y aura plus qu'à faire les derniers préparatifs et à s'assurer que tout fonctionnera bien pendant les cinq heures que durera l'observation. Aucune autre personne que celles qui sont destinées pour les observations ne devra être admise dans les cabanes ; personne ne devra quitter son poste sans prévenir son chef de service.

Chacun restera à son poste quel que soit l'état du temps, afin de pouvoir profiter de toute éclaircie subite ; l'abri des instruments devra être préparé de manière à être ouvert ou fermé instantanément.

Comme il paraît exister un certain doute sur le moment du premier contact d'après les avis de Greenwich, les observateurs et les instruments seront prêts à fonctionner à 6h50mn, et l'on commencera dès lors à veiller le point du Soleil où doit avoir lieu le premier contact.

PHOTOGRAPHIE

Composition du personnel.

MM. Cazin,

D r Rochefort,

Galy-Patit et Constans, préparation des plaques

Legros, au chronomètre.

Albertini, au volet du miroir (remplacé par M. Delaunay si c'est nécessaire).

Un pêcheur, au ventilateur.

M. Cazin recevra d'avance les heures des quatre contacts et l'angle de position des plaques de quart d'heure en quart d'heure, telles que les indiquera le chronomètre 267. A moins d'un avis spécial des équatoriaux, les épreuves photographiques commenceront à 7h2mn, limite approchée de l'incertitude annoncée par Greenwich. Pendant tout le temps de l'entrée, c'est-à-dire de 7h2mn à 7h40mn, on prendra le plus d'épreuves possible par zone, en ayant soin d'intercaler au milieu de cette série quelques épreuves du Soleil entier et une ou deux épreuves sur collodion ou tannin. Si le temps est beau, on pourra ralentir un peu l'opération six à huit minutes après le deuxième contact ; mais, si le

¹⁰⁴ Mouchez R., *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat 1821-1892, op. cit.*, p. 128

temps est incertain, comme c'est malheureusement probable, il sera indispensable de prendre le plus d'épreuves possible, chaque fois que le Soleil sera assez visible pour permettre d'obtenir une image.

L'expérience que nous avons acquise du climat de Saint-Paul paraît démontrer qu'il y aurait grand danger à se tenir à la recommandation de la Commission, relativement à l'emploi exclusif des plaques daguerriennes iodées; on devra donc avoir recours aux procédés qui ont été préalablement étudiés avec soin et qui donnent le maximum de sensibilité, soit le brome pour les plaques daguerriennes, soit le collodion humide et le tannin, toutes les fois qu'on jugera nécessaire d'augmenter la sensibilité des épreuves, et l'on en fera inscrire le motif sur le registre des observations.

Pendant la durée du passage, il sera intercalé, à intervalles à peu près égaux, des épreuves sur collodion à raison d'une plaque sur quatre ou cinq environ.

La sortie commencera à 11 heures et finira à 11h36mn ; pendant tout ce temps, on fera, comme pour l'entrée, le plus grand nombre d'épreuves possible, en intercalant deux ou trois épreuves de Soleil entier et au collodion. Le chronomètre 267, Jacob, réglé sur le temps moyen du lieu, sera placé dans la cabane photographique. L'assistant Legros notera l'heure évaluée aussi exactement que possible jusqu'aux dixièmes de seconde de chaque épreuve obtenue, avec son numéro d'ordre annoncé à haute voix par Galy-Patit, chargé de la préparation des plaques ; il notera également de demi-heure en demi-heure le thermomètre du tube de la lunette.

Il sera tenu par Constans un deuxième registre conforme à celui qu'a préparé M. Cazin, où seront indiqués par colonnes distinctes tous les détails de préparation des plaques d'ouverture de l'écran, d'angle d'orientation du porte-plaques et de durée de pose et de toutes les conditions particulières qui seront supposées pouvoir influencer les résultats.

Un des pêcheurs du capitaine Hermann, placé près et en dehors delà cabane, fera continuellement tourner, par une ouverture pratiquée dans la cloison, la manivelle du ventilateur de la lunette photographique.

OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES

Equatoriaux		Lunette astronomique
Equatorial de 8 pouces	Equatorial de 6 pouces	Petite lunette astronomique
MM. Mouchez Saint Martin Chaline Callot	MM. Turquet Lemaitre Villaume Delaunay	MM. Velain Hermann Bergot
Chronomètre n°836 Chronomètre servant aux comparaisons n°807	Chronomètre n°2089	Chronomètre n°889, plus une montre à secondes

De 6 heures à 6h45mn, on s'assurera, par une inspection minutieuse, de la parfaite propreté des verres de l'objectif de l'oculaire et du bon état de fonctionnement de toutes les parties des instruments et des

coupoles. Les équatoriaux seront entièrement prêts et les observateurs à leur poste à 6h45mn, heure à laquelle on commencera à surveiller le point d'entrée de Vénus. Si le premier contact était aperçu avant 7h2mn, avis immédiat en serait donné à la Photographie. Aussitôt après l'observation du premier contact, on commencera la distance des cornes, qu'on continuera pendant six minutes ; il deviendra alors plus avantageux de mesurer la distance des bords.

On cessera toute mesure micrométrique 3 à 4 minutes avant le deuxième contact, pour se préparer par un repos suffisant de l'œil à l'observation de ce contact; on dictera à l'assistant toutes les particularités les plus minutieuses des phénomènes optiques qui se manifesteraient aux environs de ce second contact, en notant les heures correspondantes; ces indications seront assez courtes pour pouvoir être écrites sous la dictée de l'observateur et suffisantes pour permettre une rédaction ultérieure complète de l'observation.

Après cette observation, on prendra les mesures micrométriques, en commençant par mesurer avec le plus grand soin le diamètre de Vénus dans le sens de la ligne des centres et dans le sens perpendiculaire ; cette mesure devra être répétée à intervalles à peu près égaux pendant la durée du passage. On mesurera les distances des bords, aussi longtemps qu'on croira obtenir de bons résultats.

On opérera de la même manière pour les deux derniers contacts, en mesurant le diamètre de Vénus quelques minutes avant le troisième contact, et en prenant des distances micrométriques des cornes pendant les cinq à six minutes qui le suivent. On vérifiera de temps à autre la coïncidence des zéros des têtes de vis et la division correspondant à la coïncidence des fils fixes et mobiles.

On cessera toute mesure micrométrique 3 à 4 minutes avant le dernier contact, pour se préparer à l'observer avec tout le soin possible.

D'après les expériences faites jusqu'ici avec les temps habituellement brumeux de Saint-Paul, il ne faudra employer le grossissement le plus fort, 150 fois, que si le disque du Soleil est très net, autrement il sera préférable d'avoir recours à l'oculaire n° 2, 120 fois ; dans aucun cas, il ne paraît utile d'employer l'oculaire n° 3, ne grossissant que 50 fois.

PETITE LUNETTE ASTRONOMIQUE

M. Ch. Vélain fera l'observation des quatre contacts avec la petite lunette astronomique du dépôt de la Marine, montée sur le sommet de l'île au point où il a préparé son observatoire. Il sera accompagné du capitaine Hermann qui s'offre pour enregistrer l'heure, et du matelot Bergot. Il pointera sa lunette sur la partie la plus haute du Soleil vu dans sa lunette et un peu à droite. Il tâchera de saisir les quatre contacts avec le plus de soin possible, aux heures approchées suivantes : 7h7mn, 7h37mn, 11h3mn, 11h33mn (avant le départ, la montre aura été réglée sur le temps moyen du lieu).

Il notera toutes les particularités du phénomène aussi minutieusement que possible, en ayant soin surtout de saisir avec une grande exactitude le moment des contacts intérieurs; pour cela il devra continuer de fixer le point de contact, même après qu'il aura cru qu'il a eu lieu, afin d'acquiescer la certitude que ce contact a bien eu lieu au moment indiqué; le mouvement relatif est très lent, et l'on sera probablement porté, par suite d'un sentiment inconscient d'impatience, à noter l'heure des contacts un peu trop tôt si l'on n'y fait pas une grande attention, surtout si le Soleil est brumeux. Il

notera de même le thermomètre, le baromètre, le vent de quart d'heure en quart d'heure, le point du coulant de l'oculaire qu'il adoptera comme donnant la plus grande netteté ; en un mot, tous les détails qui pourraient servir à apprécier la valeur des résultats.

COMPARAISON DES CHRONOMETRES

L'heure sera donnée par signal convenu à la petite lunette astronomique placée sur le sommet de la falaise, avec le chronomètre 807, aux instants suivants : 6h45mn, 7h45mn, 8h45mn, 9h45mn, 10h45mn, 11h45mn.

On donnera trois tops chaque fois *trente secondes avant, trente secondes après et à l'heure juste*. Le timonier Chaline donnera le top au chronomètre ; le quartier maître Mouny fera le signal convenu avec le pavillon.

En outre, le chronomètre 807 sera transporté dans les trois cabanes, pendant la durée du passage et dans la cabane de l'altazimut aux instants suivants : 6h48mn, 7h48mn, 10h48mn, 11h48mn.

Des comparaisons seront prises à tous les chronomètres par trois tops à vingt ou trente secondes d'intervalle, échangés avec les personnes qui notent l'heure pour chaque instrument. La pendule sidérale sera comparée à l'enregistreur électrique aux mêmes heures, par trois tops à dix secondes d'intervalle.

Les observations astronomiques pour régler l'heure seront faites la veille, le jour même et le lendemain du passage, aussi complètes que le permettra l'état du temps. Les étoiles de 1^e et de 2^e grandeur, qui seraient visibles de jour à la lunette méridienne, seront observées à quelque heure que ce soit, autre que celles trop voisines des contacts ; l'observation de ces étoiles de jour sera préparée d'avance.

On ne devra pas oublier de remonter les chronomètres à 9 heures comme d'habitude.

Aussitôt que les observations seront terminées, et avant toute communication de chiffres, chaque observateur rédigera le jour même une note pour rendre compte de ses opérations, noter toutes les circonstances principales de l'observation, rappeler de mémoire tous les détails qui n'auraient pas pu être consignés pendant la durée de l'observation, et indiquer en un mot toutes les circonstances particulières qui pourraient servir à l'interprétation des résultats : ces notes seront signées, datées, marquées du cachet officiel de la mission et serviront de procès-verbal.

Il sera fait quatre copies de ces procès-verbaux.

Les registres sur lesquels seront enregistrées les observations et les notes prises pendant la durée du passage seront également recopiés en quatre expéditions sous la direction des chefs de service, et les originaux seront renfermés dans un paquet cacheté à l'adresse de l'Académie, avec les procès-verbaux dont il vient d'être question.

Conformément aux prescriptions de la Commission, ces quatre copies seront réparties de la manière suivante :

La première restera sur l'île Saint-Paul.

La deuxième sera déposée chez le gouverneur de la Réunion.

La troisième expédiée par la première occasion qui se présentera.

La quatrième restera dans les archives du chef de la Mission.

Les observateurs pourront en faire faire une cinquième pour leur usage personnel.

Un dernier exercice général sera fait la veille du passage mardi à 7 heures du matin.

Le capitaine de vaisseau, chef de la Mission de Saint-Paul.

Signé : Mouchez.

Saint-Paul, le 5 décembre 1874

Transcription d'une lettre de Victor Puiseux à Mouchez, du 1^{er} mars 1874

« **Questions 1 et 2** - L'orientation des photographies serait nécessaire si l'on voulait déduire la parallaxe de la comparaison des angles de position de Vénus mesurés au même instant (ou à peu près) dans deux situations différentes ; mais l'île St Paul est l'une des localités les moins convenables pour ce genre d'observation et je crois qu'il n'y aurait pas grand intérêt à l'y effectuer.

Comme stations convenablement situées de ce point de vue on peut citer Aden et Taïti et cependant, pour que, des angles de position observés en ces deux lieux, on pût déduire la parallaxe avec une erreur probable de 0,01 " , il faudrait que l'erreur probable de chacun des angles mesurés ne dépassât pas 10 " et qu'ainsi l'orientation des photographies fût assurée avec ce degré de précision.

En d'autres termes, une erreur de 10 " dans l'orientation de l'image à Aden ou à Taïti serait à peu près équivalente à une erreur de 1 ' dans l'estimation du temps d'un contact observé dans une des stations favorables aux observations de contact.

Il ne sera peut-être pas possible d'atteindre ce degré de précision dans les heures de contact et on devra sans doute regarder comme bonnes des observations de contact comportant une erreur probable de 2 ou 3 " de temps, ce qui répond à une incertitude de 2 ou 3 centièmes de seconde dans la parallaxe, alors aussi on devra regarder comme bonnes des mesures d'angles de position qui, faites à Aden ou à Taïti, seraient affectées d'erreurs probables de 20 ou de 30 " . Mais, comme je l'ai déjà dit, l'île Saint Paul se prête mal à ce genre de mesure ; car le coefficient de la parallaxe dans l'expression de l'angle de position n'y est que les 2/5 environ de ce qu'il est dans les deux autres localités dont j'ai parlé.

3^{ème} question – En admettant la parallaxe moyenne 8,86 " et en adoptant 960",00 et 8",30 pour les demi-diamètres apparents du Soleil et de Vénus à la distance 1, on trouve, à l'aide des tables du Soleil et de Vénus de M. Le Verrier, les nombres suivants :

Ile St Paul (long = 75°14' est, lat = 38°43' sud)

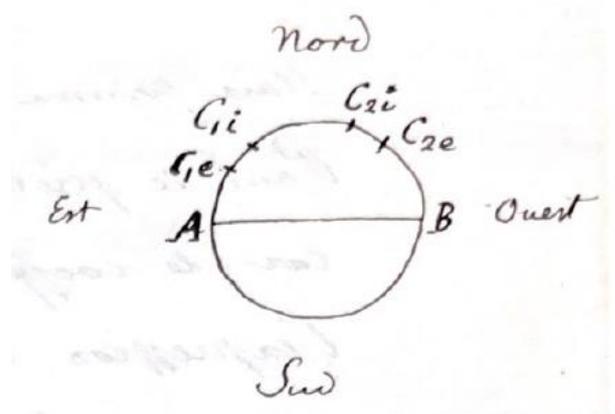
	Temps moyen de Paris
1 ^{er} contact extérieur	14h 5mn 35s = t1e
1 ^{er} contact intérieur	14 35 28 = t1i
2 ^{ème} contact intérieur	18 3 34 = t2i
2 ^{ème} contact extérieur	18 32 58 = t2e

Soit AB le diamètre du disque solaire qui au moment d'un contact est parallèle à l'équateur céleste ; si l'on désigne par C1e, C1i, C2i, C2e les points de circonférence où se font les contacts successifs, on a pour St Paul

$$AC1e = 42^{\circ} 7' , AC1i = 48^{\circ} 23'$$

$$AC2i = 103^{\circ} 11' , AC2e = 109^{\circ} 37'$$

Note. Le point A, qui sert d'origine à chacun de ces arcs, n'est pas un point fixe sur la circonférence du disque solaire ; il se déplace un peu pendant la durée du passage, à cause du mouvement propre du soleil



4^{ème} question – Appelons

$\delta\pi$ la correction inconnue de la parallaxe moyenne $8'',86$ admise dans les calculs qui ont fourni les nombres rapportés ci-dessus,

α la correction qu'il faut faire, par suite des erreurs des tables, à l'excès de l'ascension droite de Vénus sur l'ascension droite du Soleil,

β la correction qu'il faut faire, pour la même raison, à l'excès de déclinaison de Vénus sur la déclinaison du Soleil,

γ la correction dont a besoin la somme (s'il s'agit d'un contact extérieur) ou la différence (s'il s'agit d'un contact intérieur) des demi-diamètres apparents du Soleil et de Vénus,

δL la correction de longitude admise pour le lieu de l'observation, les longitudes occidentales étant regardées comme négatives,

$\delta\Lambda$ la correction de latitude admise.

Si nous supposons $\delta\pi$, α , β , γ exprimés en secondes d'arc et δL , $\delta\Lambda$ exprimés en minutes d'arc, les corrections (en secondes de temps des heures de contact données ci-dessus pour l'île St Paul) seront les suivantes :

$$\delta t1e = +74,7 \delta\pi + 18,3 \alpha + 18,2 \beta - 26,9 \gamma - 0,073 \delta L - 0,019 \delta\Lambda$$

$$\delta t1i = +72,0 \delta\pi + 20 \alpha + 24,6 \beta - 32,8 \gamma - 0,100 \delta L - 0,059 \delta\Lambda$$

$$\delta t_{2i} = -19',9 \delta\pi + 6,7 \alpha - 30,1 \beta + 30,9 \gamma - 0,026 \delta L - 0,212 \delta\Lambda$$

$$\delta t_{2e} = -16',9 \delta\pi + 8,0 \alpha - 24,4 \beta + 25,9 \gamma - 0,044 \delta L + 0,170 \delta\Lambda$$

Par exemple si $\delta\pi$ s'élevait à $+ 0,05''$ la correction correspondante de l'heure du premier contact intérieur serait $+ 72,0 \times 0,05 = + 3,6$; pareillement si la correction de L était de $+10'$, la correction correspondante de cette même heure serait $-0,100 \times 10 = 1$ s.

Les corrections provenant des erreurs des tables (termes en α et β) pourront avoir des valeurs assez considérables. Par exemple si les différences d'ascension de droite et les différences de déclinaison étaient affectées d'erreur s'élevant à une seconde d'arc, les erreurs correspondantes des heures de contact calculées pourraient dériver de 40s. L'inexactitude des valeurs admises pour les demi-diamètres des deux astres pourraient donner lieu à des erreurs du même ordre. **Je pense donc que l'observateur devra se tenir prêt à observer un contact 2 minutes environ avant l'heure calculée.**

5^{ème} question – Le demi-diamètre apparent de Vénus ne variera pas de $0'',01$ pendant la durée du passage ; sa valeur calculée est $31'',42$ d'où le diamètre entier = $62'',84$

Des photographies de Vénus devant le Soleil au XIX^{ème} siècle

Les archives de la bibliothèque de l'Observatoire à Meudon contiennent 172 plaques photographiques prises en Amérique du Sud pendant les campagnes du transit de 1882. La technique utilisée était le collodion sur plaque de verre – et non en cuivre comme la majorité des plaques utilisées en 1874. Les clichés ci-dessous donnent une idée de la dimension de ces plaques et de la disparité des états de conservation. Elles sont toutes quadrillées de carrés de 17 mm de côté.

