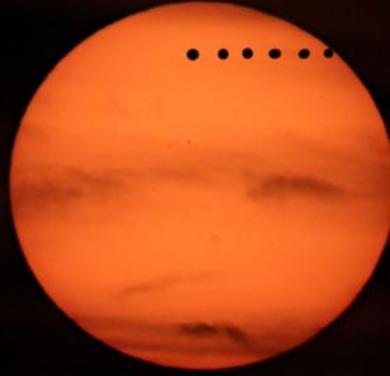


LE TRANSIT DE VENUS



OU MESURER L'ESPACE

Raymond D'Hollander avec ses *Sciences Géographiques dans l'Antiquité* et Jean-Jacques Levallois avec *Mesurer la Terre* nous avaient fait revivre des aventures scientifiques exaltantes. Une autre aventure, aussi exaltante, a été un peu occultée, c'est celle de la mesure de notre système solaire et de l'Unité Astronomique (UA). Avec l'observation du Transit de Vénus, qui permettait d'améliorer les estimations précédentes, elle a mobilisé de nombreux scientifiques aux XVIII^e et XIX^e siècles, créant une véritable émulation et coopération internationale. Elle a débouché sur des expéditions hors normes. Nous allons décrire l'expédition britannique de 1874 aux Îles Kerguelen. En 2007, nous avons eu la chance d'en étudier les vestiges en Baie de l'Observatoire [2].

UN PEU D'HISTOIRE

L'héliocentrisme

Pendant longtemps, le mouvement apparent des astres autour de la Terre fit penser que celle-ci était le centre de l'Univers : tout tournait autour d'elle, c'est le géocentrisme. Aristarque de Samos (310-230 BC) fut le premier à émettre le principe de l'héliocentrisme [1], la Terre n'étant plus le centre de l'Univers. Mais, l'idée mit du temps à prendre et il fallut attendre Nicolas Copernic (1464-1543) pour voir ressurgir la thèse de l'héliocentrisme.

L'héliocentrisme allait à contre-courant de ce que l'observateur terrestre percevait et des idées admises ; la religion s'en mêla et Luther condamna Copernic. Bien que, lors de l'élaboration du nouveau calendrier grégorien (1582) les théories coperniciennes soient utilisées, l'Eglise persista dans son rejet de l'héliocentrisme et condamna Galilée en 1616. Elle n'admit l'héliocentrisme qu'au XVIII^e siècle ! Cela n'empêcha pas les savants de continuer dans la voie de Galilée...

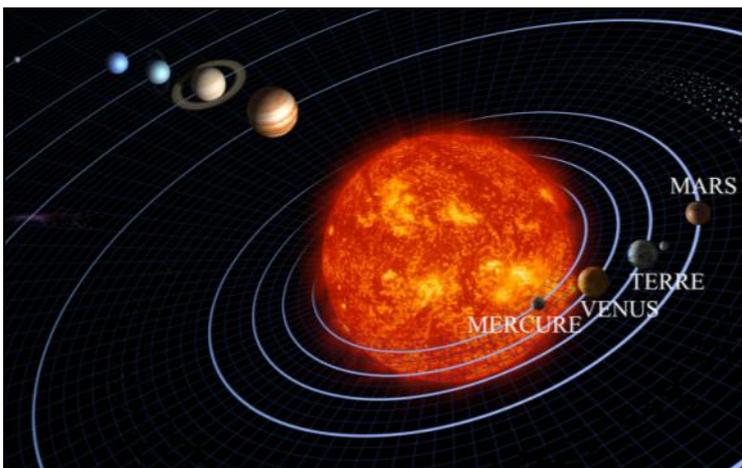
Au début du XVII^e siècle, avant qu'Isaac Newton ne donne ses lois sur la gravité, les lois de Kepler permettaient de mieux définir le mouvement des planètes autour du Soleil. Kepler (1571-1630) avait énoncé, entre autres, que Mars décrivait une ellipse et non un cercle autour du Soleil, le Soleil étant l'un de deux foyers de cette ellipse. Il en avait déduit que la surface d'un secteur situé entre le Soleil et la por-

tion de trajectoire d'une planète était proportionnel au temps : la surface de secteur générée par le mouvement d'une planète était égale pendant un temps égal. Du fait de sa trajectoire ellipsoïdale, la vitesse linéaire d'une planète n'était donc pas constante, comportant des phases d'accélération et de décélération.

Les transits

Kepler avait aussi envisagé que les planètes inférieures puissent passer à un moment donné entre la Terre et le Soleil. La dimension de ces planètes, vu leur éloignement de la terre, ne permettait pas une éclipse du Soleil, mais on pouvait observer leur « transit » devant cet astre. Il prédit ainsi un transit de Mercure, puis un transit de Vénus en 1631. Mais, ses calculs manquaient encore de précision et ce dernier transit ne put être observé. En fait, il s'avéra qu'il s'était passé pendant qu'il faisait nuit en Europe, donc invisible de chez nous.

Fin octobre 1639, le britannique Jeremiah Horrocks calcula que Vénus devait repasser devant le Soleil le 24 novembre [3]. Mais ses calculs aboutirent trop tard pour en informer la communauté scientifique européenne. Il put seulement avertir son frère Jonas et son ami William Crabtree. Mais regarder le Soleil directement avec un télescope était à l'époque impossible, car l'éblouissement aurait amené un décollement de la rétine. Aussi, faute de filtres encore existants, il avait imaginé d'observer l'astre à partir d'une pièce plongée dans le noir. L'image du Soleil à travers le



télescope se projetait deux mètres en arrière sur une feuille de papier blanc finement carroyée. Il put ainsi y observer durant 35 minutes la petite tache noire de Vénus se déplaçant sur le grand cercle du Soleil.

LE TRANSIT DE VENUS

A partir de la terre, le Soleil et Venus semblent tourner autour de nous. La différence de vitesse angulaire apparente de rotation du Soleil et de Vénus, puis une légère différence entre les plans d'orbite de la Terre et de Vénus font que les transits de Vénus sur le Soleil se font par séquences qui se répètent tous les 243 ans, avec deux transits espacés de 8 ans, séparant deux périodes de 121,5 et 105,5 ans

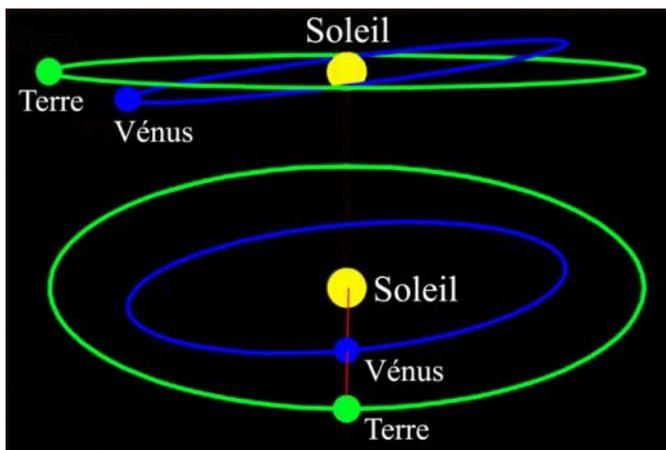
Ainsi, s'il y eut des transits de Vénus en 1631 et en 1639, les transits suivants n'arrivèrent qu'en 1761 (soit 122 ans après) et 1769. Durant ces deux dernières périodes plusieurs expéditions furent organisées, en particulier celles de Cook et de Hauteroche.

Au XIX^e siècle, avec un mélange de coopération et de compétition scientifique, les transits de Vénus du 8 décembre 1874 et du 6 décembre 1882 furent activement préparés, car ils permettaient de mieux définir la dimension de notre système solaire. En 1874, on compte qu'il y eut 62 campagnes d'observation du transit à partir de différents points du Globe répartis du nord au sud. Mais, la précision des mesures fut un peu décevante et le transit de 1882 suscita moins d'engouement.

MESURER LA DISTANCE TERRE-SOLEIL A PARTIR DU TRANSIT

La **parallaxe** est l'incidence du changement de position de l'observateur sur l'observation d'un objet. Dans notre système solaire, la parallaxe est l'angle sous lequel on verrait le rayon de la Terre à partir du

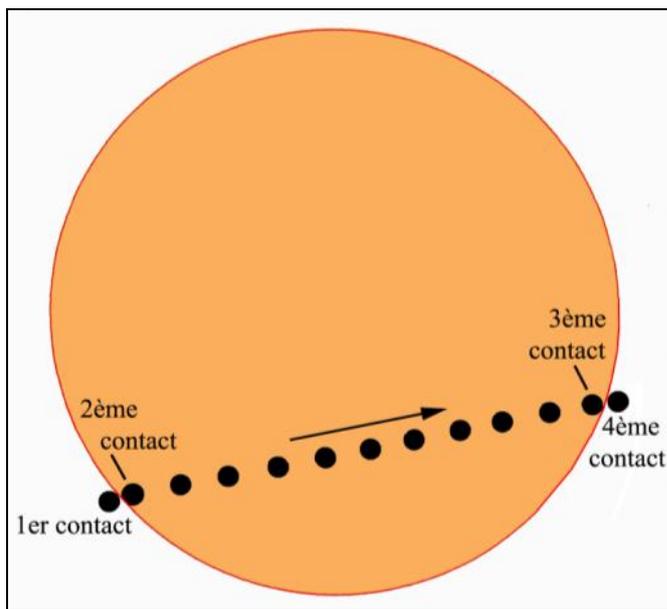
Le fait que Vénus et la Terre soient sur deux plans d'orbite différents complique la fréquence des transits.



centre du Soleil. Connaissant les dimensions de la Terre, la mesure exacte de la parallaxe permet de déduire la distance Terre-Soleil (UA). On pourrait déduire cet angle par l'observation du Soleil à partir de différents endroits de la Terre ; mais quand on sait qu'il ne vaut que 8.79", l'erreur commise sur les distances zénithales ne donnerait qu'une très mauvaise précision.

L'observation d'un transit de planète permet d'une manière indirecte une meilleure détermination de cette parallaxe. La technique consiste à mesurer la différence de durée du transit observée depuis des points de la surface terrestre très éloignés les uns des autres dans le sens nord-sud. La distance déterminée entre les lieux d'observation permet de calculer la distance Soleil-Vénus-Terre par un calcul trigonométrique simple.

Vénus étant beaucoup plus près de la Terre que Mercure, est plus favorable à une meilleure détermination.

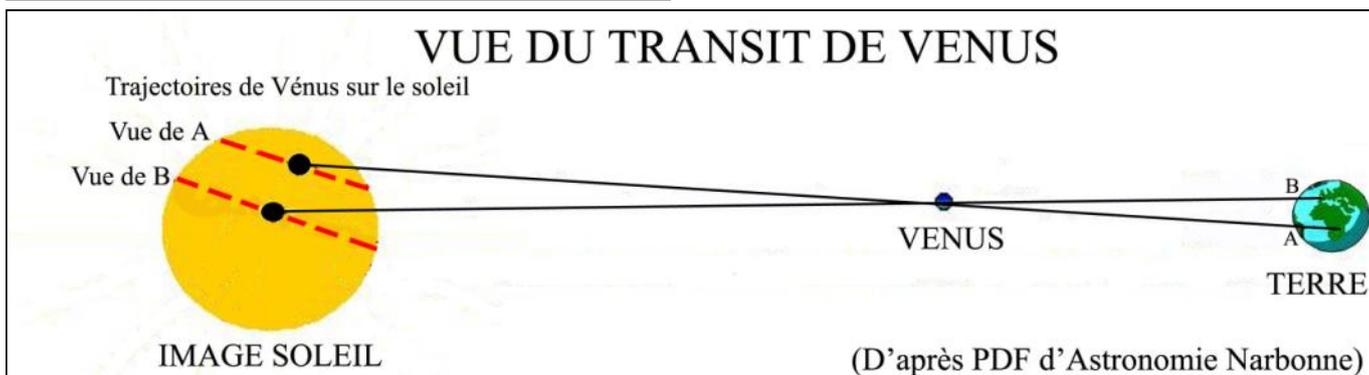


A cause du flamboiement du soleil, le premier et le quatrième contact ne sont pas précis. On préfère prendre l'heure des deux contacts intérieurs (2 et 3)

LE TRANSIT DE 1874

En France, dès 1872, l'Académie des sciences prit en charge l'organisation des observations. Elle décida d'installer trois stations d'observation dans l'hémisphère nord, à Pékin, Yokohama et Saïgon, et trois dans l'hémisphère sud, aux îles Saint-Paul et Campbell ainsi qu'à Nouméa.

Du fait de la parallaxe, le transit n'apparaît pas de la même manière de deux points A et B de latitudes différentes [7].





Installation de l'observatoire français dans la toute petite île St-Paul (5 km²), dans l'hémisphère austral.

Les Britanniques envoyèrent des expéditions dans les Iles Sandwich (Honolulu, Kailua, Waimea), en Egypte (le Caire et Suez), à l'île Rodrigue (Point Coton, Point Vénus et Islet de l'Hermitage), à Kerguelen (Baie de l'Observatoire, Baie du Supply et Pic Thumb) et en Nouvelle-Zélande.

En ce qui concerne l'hémisphère sud, pourquoi avoir choisi Kerguelen où les mauvaises conditions climatiques constituaient un gros risque d'échec sur la courte période d'observation ? Tout simplement parce que le transit se déroulait durant l'été austral où les journées sont beaucoup plus longues. De plus, à latitude égale, la plus grande hauteur du Soleil au dessus de l'horizon représentait de meilleures conditions d'observation que dans l'hémisphère nord.

Combinant la vitesse apparente du Soleil et celle de Vénus, le temps du transit de Vénus devant le soleil peut atteindre 8 heures (de l'ordre de 4h en 1874 et 6h en 1882). Cela signifie qu'on ne peut le voir de tous les points de la terre, une grande partie du globe terrestre étant plongée dans la nuit durant le temps de passage. De plus, pour des questions de clarté et de réfraction, on ne peut faire d'observations quand le Soleil est près de l'horizon. De ce fait, les conditions optimales d'observation ne touchent qu'un quart du globe.

L'observation du transit de Vénus à Kerguelen

Le « transit de Vénus » n'impliquait pas que l'observation de ce transit durant les quelques heures de son déroulement. Les enseignements qu'on pouvait en tirer nécessitaient de nombreuses autres observations et calculs. Ces calculs demandèrent plusieurs années après les différentes expéditions. L'informatique n'était pas encore née.

•Méthodologie

L'un des premiers soins était de déterminer la position la plus précise possible du lieu d'observation, condition nécessaire au calcul exact de la parallaxe. A

l'époque, la seule méthode était l'astronomie de position. Or, la détermination de la longitude nécessite de connaître le temps exact par rapport à Greenwich, ce qui était la grosse contrainte de l'astronomie de position. Bien que de grands progrès aient été accomplis depuis le XVII^e siècle, les horloges n'étaient plus assez précises après un ou plusieurs mois de navigation. En 1874, le temps de Greenwich pouvait être obtenu au lieu de l'observation, quand on avait une liaison télégraphique ; cela n'était pas le cas à Kerguelen.

Il fallait alors employer une autre méthode plus complexe et beaucoup plus longue à mettre en œuvre : celle des « transits lunaires » [4]. Les instructions données par les scientifiques (Airy's instructions) demandaient 100 doubles observations de la hauteur et de l'azimut de la lune ainsi que 30 mesures du passage de la lune au méridien. Il faut préciser que la définition du méridien est plus difficile dans l'hémisphère sud où l'Etoile polaire n'est pas visible. De plus, les conditions climatiques n'étaient pas propices pour faire un aussi grand nombre d'observations dans un temps restreint.

Cela explique que les navires *Volage* et *Supply* aient dû mouiller quatre mois aux Kerguelen, dont trois après le transit de Vénus. Il faut aussi ajouter que la synchronisation des horloges nécessaires à la détermination des coordonnées géographiques des trois stations britanniques et de la station américaine de Mollo fut assurée par le lancer de fusées à partir d'un sommet (alt. 140m) situé sur l'île Heugh. En même temps que ces observations astronomiques, un lever géomagnétique de l'île, ainsi que plusieurs mesures de magnétisme furent effectuées.

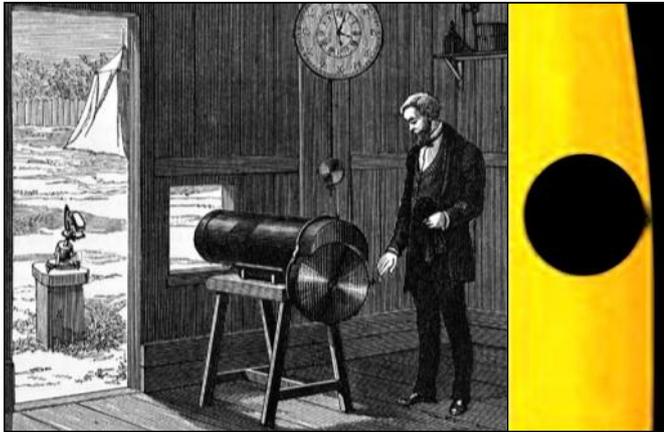


Le HMS Volage en Baie de l'Observatoire

•Emploi des photos [5]

Il faut noter l'emploi de Daguerrotypes et de papier sensible pour obtenir une image photographique du passage de Vénus devant le Soleil. Le premier emploi sérieux de photos en astronomie avait été effectué en 1860 par l'astronome britannique Warren de la Rue à Rivabellosa (Espagne), lors d'une éclipse du Soleil. Il avait mis au point le premier photohéliographe, destiné à enregistrer quotidiennement la représentation photographique de la surface du Soleil et aussi à déterminer l'ensoleillement journalier. En 1873, le français Jules Jansen avait mis au point un « revolver photographique » qui pouvait prendre automatiquement 48 photos ou plus à intervalles réguliers. Ce revolver préfigurait le cinématographe des frères Lumière. Il fut utilisé à Kerguelen avec une période d'une seconde durant des sessions d'environ une minute. Quatre sessions furent observées, seules les troisièmes

et quatrièmes furent réussies. Cependant, le résultat de ces images fut un échec du fait de problèmes d'instrumentation et de mauvaise manipulation des photos. De plus, le résultat des calculs issus des mesures sur les photos de l'ensemble des sites fut souvent décevant à cause de la distorsion des optiques et de l'instabilité du contour du soleil qui empêchait d'avoir le moment exact où Vénus commençait et finissait le transit. Il faut y ajouter le phénomène de « goutte noire » qui collait l'image noire de Vénus au contact intérieur du soleil.



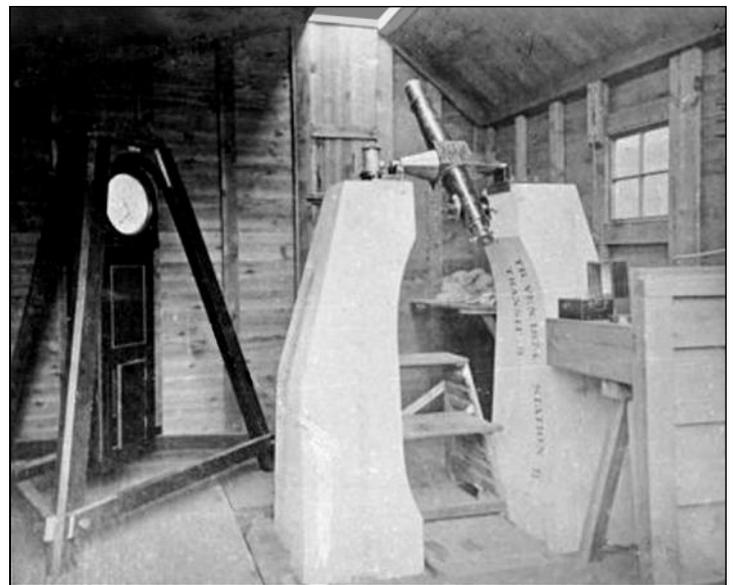
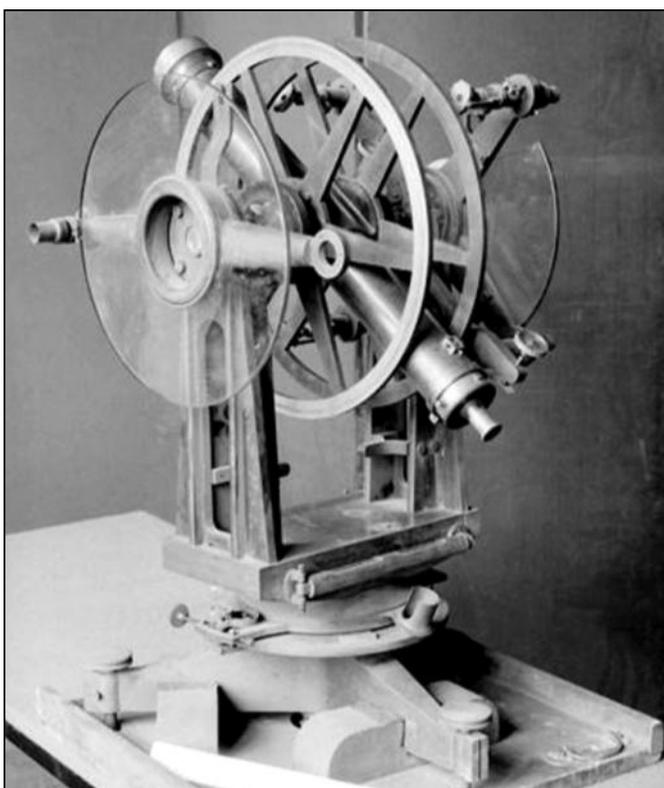
Utilisation du revolver de Jansen pendant un passage de Vénus et à droite, phénomène de la goutte noire.

• Instruments utilisés [4]

D'après Peter D Hingley, en dehors des dispositifs photographiques et du photohéliographe, plusieurs types d'instruments d'observation astronomiques furent utilisés :

- Cinq « altazimuths » portables adaptés aux 100 mesures de hauteur et d'azimut sur la lune. Ces appareils étaient fixés sur un pilier en briques.
- Cinq instruments de transit, adaptés au passage de la lune au méridien. Ces appareils reposaient sur deux piliers en pierre du Sussex (transit stones) disposées

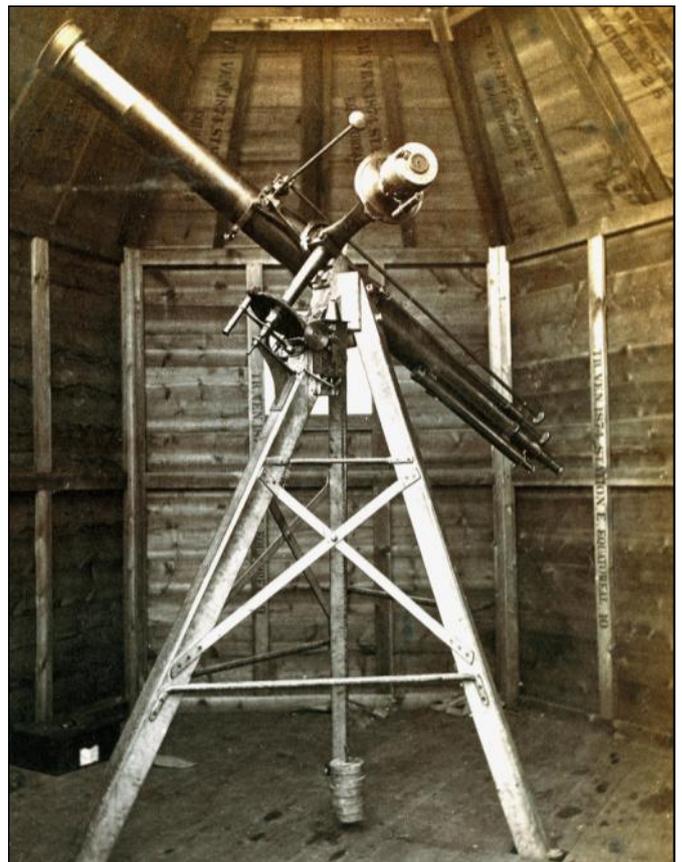
L'altazimuth dont nous ignorons la précision angulaire.



L'instrument de transit lunaire et le toit, orientés suivant le méridien, au fond : une horloge de Kent (Doc. Brit. Astro. Ass.)

perpendiculairement au méridien, de façon à ce que la lunette soit toujours orientée vers le méridien. Ces deux types d'instruments servent à la détermination des coordonnées géographiques de la station.

- Deux télescopes équatoriaux dont le montage permet de mieux suivre le mouvement des astres. Ils étaient utilisés pour l'observation du transit de Vénus sur le Soleil avec, évidemment, les filtres optiques nécessai-



Télescope avec monture équatoriale pour suivre Vénus durant son transit.

• Calcul des observations

L'informatique n'était pas encore née, les éphémérides de la Lune étaient encore succincts et le calcul par les logarithmes d'une simple observation « hauteur azimut » de la lune demandait six heures ! Le volume des observations finales ne fut publié qu'en 1881, quant aux observations faites en Nouvelle Galles du Sud, en 1882, elles ne le furent qu'en 1892, nous en discuterons plus loin.

•Autres mesures

A Kerguelen, d'après les écrits retrouvés, les mesures astronomiques furent accompagnées de mesures météorologiques et du levé d'une carte de la zone. Cette carte déterminera en partie le choix de la zone par l'expédition scientifique allemande de 1901-1903.

ORGANISATION MATERIELLE DE LA MISSION

Les lignes précédentes nous montrent l'importance d'une telle mission scientifique et la diversité de ses mesures. L'observation des six heures du passage de Vénus devant le soleil nécessitait en fait de très longs préparatifs et de très gros moyens à mettre en œuvre.

On ne pouvait envisager un simple campement de quelques jours. Il était nécessaire de mettre en place une structure assez confortable pour subsister pendant plusieurs mois dans des conditions climatiques éprouvantes. Cette structure devait être suffisamment importante pour mener de front plusieurs types de travaux.

Le choix de la Baie de l'Observatoire

Lors de levés hydrographiques faits en 1872 et 1873 par le HMS *Challenger*, la Baie de l'Observatoire avait été jugée comme un bon lieu d'observation. Une course de vitesse fut engagée en 1874 avec les Américains qui durent se rabattre sur Molloy à peu de distance de là ! Mais, par prudence et à titre de contrôle, deux autres stations annexes furent occupées : une à l'Anse du *Supply*, 5 km au N.O. de la Baie de l'Observatoire où ont été retrouvés quelques vestiges principalement constitués de briques ou de piliers de briques ; une autre au pied du Pouce (Thumb), dans un site qui a été occupé par les Français en 1962 sous le nom de Port Douzième et où ne subsiste aucun vestige.

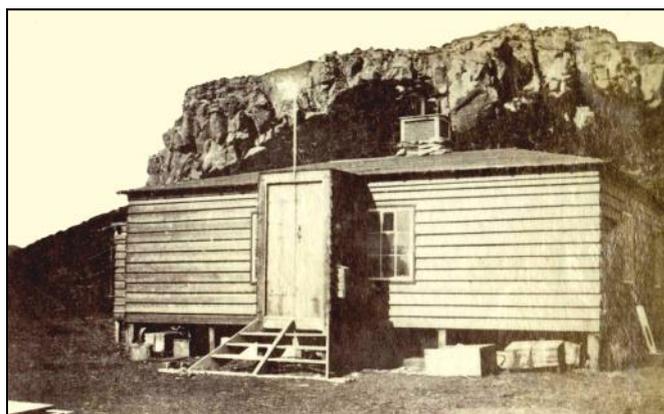
En 1874, la mission était dirigée par le Révérend Père jésuite Stephen Joseph Perry [4], brillant astronome, dans la tradition scientifique de la compagnie de Jésus. La mission était réunie au Cap en juillet 1874. Initialement, elle devait appareiller sur le HMS *Encounter*, mais suite à une avarie, ce navire fut remplacé par le HMS *Volage* qui appareillait le 18 septembre.

L'arrivée en Baie de l'Observatoire se faisait le 5 novembre et, aussitôt étaient montés les bâtiments préfabriqués prévus pour la mission : maison d'habitation et différentes cabanes pour les observations astronomiques. Le Lieutenant Corbett sera chargé de l'Observatoire annexe de la Baie du *Supply* et ultérieurement le Lieutenant Goodbridge de l'Observatoire annexe, plus rustique, du Pouce (Thumb).

L'examen de la photo britannique nous permet de différencier ces cabanes. Juste à gauche de la mai-



Le camp britannique après installation (Doc. Brit. Astr. Assoc.)



Le logement des astronomes britanniques en 1874 et ce qu'il en restait en 1901 lors de l'expédition allemande. Cela illustre les rudesses du climat à Kerguelen.

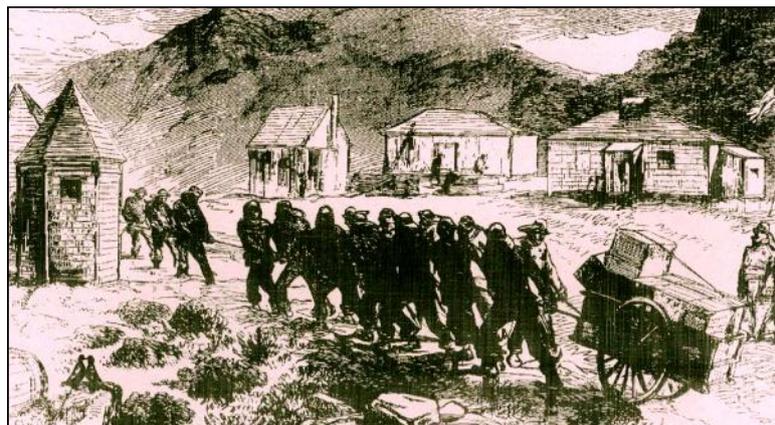


son d'habitation se trouve une cabane rectangulaire, elle abrite les pierres de transit. Un long volet à la crête de son toit permet une ouverture pour observer uniquement vers le nord, en direction du méridien. Les trois autres cabanes sont hexagonales et leur toit peut tourner, permettant d'observer dans toutes les directions.

La mission dura plus longtemps que prévu. Elle, s'acheva le 27 février 1875, alors que le passage de Vénus devant le soleil, d'une durée de 4h11mn, avait eu lieu le 9 décembre 1874 !

Les pierres de passage (transit stones)

En 2007, la mission d'archéologie moderne des TAAF, dirigée par J-F. Le Mouel, avait pour but de reconstituer l'occupation de la baie de l'Observatoire [8]. Sur le terrain, subsistaient les vestiges des trois missions qui s'y étaient succédées : britannique en 1874-75, allemande de 1901 à 1903 et française en 1911-1912. Vu les rudes conditions climatiques des lieux, les bâtiments n'avaient pas résisté aux assauts





En Baie de l'Observatoire, ce qui restait des missions britanniques, allemandes et française, fin 2006. On voit en blanc les deux pierres de transit. (Cl. J-F. Le Mouel)

du vent. Aux vestiges des installations britanniques se superposaient ceux des installations allemandes et françaises.

En ce qui concerne la mission britannique subsistaient deux magnifiques pierres de transit. Elles forment l'un des éléments majeurs du site. L'une, cassée en trois, est couchée, l'autre est encore debout et sa belle silhouette blanche est visible de loin, servant de point de repère aux bateaux. Elle est haute de 1,48m et taillée dans un calcaire blanc du Sussex. Sa photographie suffira à la décrire. La pierre couchée porte à son sommet des encoches qui devaient permettre de caler l'appareil posé dessus. Quant à la pierre debout, son sommet a été visiblement retailé par l'expédition allemande de 1901, sans doute pour y adapter l'embase circulaire d'un appareil d'observation. De plus, les Allemands y ont gravé un trait horizontal avec l'inscription M.W.=15.M (Mittel Wasser = 15m).

Posée sur l'herbe instable, légèrement penchée, la pierre debout ne semblait pas être à sa place. Vu son poids estimé à près de 400 kilos, elle devait avoir auparavant une assise solide pour assurer sa stabilité. C'est dans cette optique que se firent nos recherches. En creusant dans l'épaisseur de végétation et de terre, nous devions retrouver à une profondeur d'une quinzaine de centimètres une belle dalle en béton, mélange de mortier et de petits galets de basalte. Cette dalle, bien protégée par la terre était en excellent état. La pierre de passage était décalée par rapport à elle. Parfaitement horizontale, cette dalle mesurait 1,80 m sur 1,20. Nous avons creusé sur son côté pour voir sur quoi elle reposait. A une profondeur allant de quelques centimètres à 40, nous avons retrouvé le socle rocheux naturel (bedrock). Tout avait donc été fait pour assurer une stabilité parfaite. Sur le côté sud de la dalle se trouvaient des briques, dont une couche encore en place avait la même direction que la dalle.

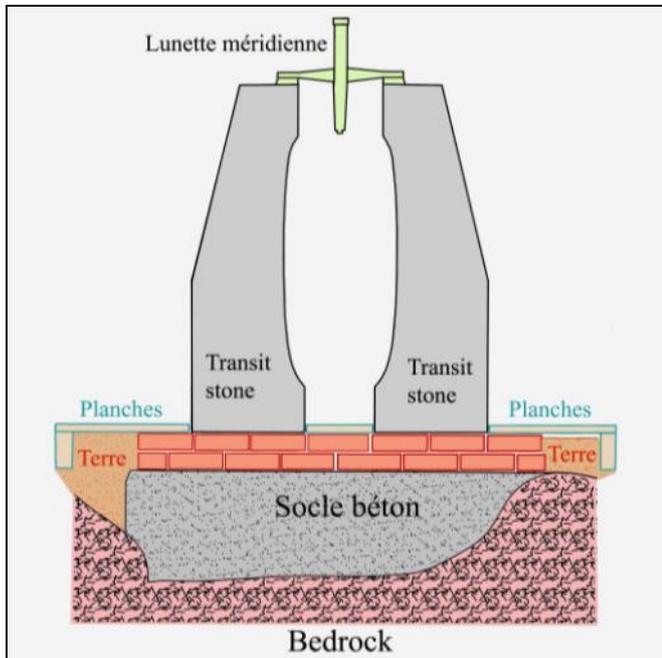
Le relevé topographique montra que la dalle était rigoureusement orientée est-ouest, tout comme la rangée de briques encore en place. Cela signifie que les deux pierres de passage étaient alignées est-ouest, comme l'axe de rotation de la lunette d'un instrument dirigé vers le méridien. Les pierres de passage étaient bien destinées à observer les trente passages de la Lu-



ne au méridien, nécessaires à la détermination des coordonnées astronomiques. Ces trente passages étant observés sur plusieurs mois, il n'y avait pas à réorienter à chaque observation l'instrument posé dessus. Reste à expliquer l'utilité des briques. Si l'on pose une lunette sur les deux pierres de passage d'une hauteur de 1,48m, l'objectif de la lunette étant dirigé vers le ciel, l'oculaire se trouve seulement à 1,20 ou 1,30m du sol, ce qui est inconfortable pour les observations. Sur la photographie on voit un petit siège installé au pied des pierres de passage, la position assise diminuant la hauteur de l'observateur. Mais, le plancher de la cabane d'observation (aujourd'hui disparue) surélevait l'observateur par rapport à la dalle en béton. On comprend alors que l'on ait voulu surélever aussi les pierres de passage en les plaçant sur une épaisseur de deux ou trois briques.

•Déterminations astronomiques de la pierre de transit

Bien que les paramètres de l'ellipsoïde employé pour les calculs soient différents, il était intéressant de comparer les coordonnées des pierres de transit issues du transit de 1874, à celles modernes données par le GPS. On trouve 45 m de différence en latitude et 75 m en longitude.



Reconstitution du dispositif des observations méridiennes de la lune (P. Courbon).



Autre vestige de la mission britannique : tombe d'un marin du HMS Volage mort à Kerguelen (Cl. Le Mouel)

DISTANCE TERRE-SOLEIL ISSUE DES TRANSITS		
Dates du transit et des calculs	Parallaxe	Distance Terre-Soleil
Jeremiah Horrocks (1639), calcul en 1661	15''	95, 6 M km
Jérôme Lalande (1761-1769), calcul en 1771	8,604''	151,217 M km ± 1,5M
Simon Newcomb (1761 à 1882), calcul en 1892	8,79''	149,668 M km ± 0,3M
Transit 2004, avec la méthode temps de passage		149 608 708 km ± 11 835 km
Estimation moderne	8,794143''	149 597 870 700 m ± 3 m

Les écarts donnés ± sont les écarts-types issus de la moyenne des différentes observations [6]. L'estimation moderne a fait intervenir en outre le laser et le radar.

Rappelons que la détermination au GPS du point fondamental de Kerguelen des années 1960 (Borne astronomique de Port-aux-Français) a donné une différence de -202m en longitude et +172m en latitude. Là encore, les paramètres de l'ellipsoïde de référence doivent être pris en compte avant d'émettre un jugement.

PRECEDENTS HISTORIQUES ET PRECISION DES MESURES

Dans l'Antiquité, plusieurs savants avaient calculé le rapport entre le rayon du Soleil et celui de la Terre (rs-rt), puis entre le rayon terrestre et la distance Terre-Soleil (rt-Ds) [1].

Posidonios (133-49 BC) était celui qui avait eu la meilleure estimation du rapport rs-rt : 39,2 contre 109 pour la mesure moderne. Eratosthène (276-196 BC) avait trouvé le meilleur rapport entre le rayon de la Terre et la distance du Soleil : 20 046 pour 23 440 aujourd'hui. Quand on sait que son calcul de la circonférence terrestre équivalait à 39 690 km [1, pp. 127-130], cela nous donnerait une distance Terre-Soleil de 126,6 M km (149,7 aujourd'hui) [1, p.127]. Exceptionnel quand il n'y avait ni lunette astronomique, ni théodolite, ni chronomètre !

Nous donnons ci-dessous un tableau des mesures issues des transits de Vénus [6]. Etant données les petites différences de mesures générées par la parallaxe entre les points situés au nord et au sud, on n'a qu'une précision relative de 1/100 (1%) pour les calculs de 1771 et de 1/500 (0.2%) pour ceux de 1892, faits par Newcomb qui reprenait les mesures des qua-

tre transits de 1761 à 1882. Le GPS, les progrès d'enregistrement et un plus grand nombre d'observations ont apporté plus de précision aux mesures de 2004.

Remerciements : Aux sept autres membres de la mission archéologique de 2007, dirigée par J.F. Le Mouel et qui campa deux mois en Baie de l'Observatoire dans des conditions souvent difficiles. Sarah Quine, archéologue australienne de l'expédition, avait réuni avant le départ, une nombreuse documentation : des photographies anciennes et des articles issus du « Journal of the British Astronomical Association ».

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Raymond D'HOLLANDER, 2003, Sciences géographiques dans l'Antiquité, Ed. A.F.T., 470p.
 [2] Paul COURBON, 2008, Dans les terres australes et antarctiques françaises, XYZ n°68, pp. 68-73.
Articles issus du numéro spécial sur le transit de vénus du Journal of the British Astronomical Association, vol. 115 N° 3, juin 2005 :
 [3] Mike FROST, Jeremiah Horrocks - A very curious Astronomer, pp. 132-137
 [4] Peter D HINGLEY, The priest and the stuffed penguin, pp. 150-161

Sites internet :

- [5] Monique SICARD, 1998, PDF [le passage de Vénus et la photographie](#).
 [6] CLEA (Comité de liaison des enseignants astronomes), 2004, [Dossier le transit de venus-cahiersClairaut](#) 108
 [7] Observatoire astronomique de Narbonne, 2013, [le calcul de l'UA par le transit de Vénus](#).
 [8] P. COURBON, J-F. LE MOUEL, 2009, PDF [Archaeobs Kerguelen](#)

Paul Courbon

Article paru dans la revue XYZ n° 148, 3ème trimestre 2016
 Nous l'avons complété des liens avec les sites Internet