



Donner toute sa place au cercle méridien de Toulouse-Jolimont à l'aide d'outils numériques : l'exemple des travaux du projet ReSeed

Digital approach of the Toulouse-Jolimont meridian circle - Reseed experiment towards a scattered series embodiment

Amandine Bérard, Jean Davoigneau, Loïc Jeanson et Florent Laroche



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/pds/4568>

DOI : 10.4000/pds.4568

ISSN : 2494-2782

Éditeur

Conseil régional Occitanie

Référence électronique

Amandine Bérard, Jean Davoigneau, Loïc Jeanson et Florent Laroche, « Donner toute sa place au cercle méridien de Toulouse-Jolimont à l'aide d'outils numériques : l'exemple des travaux du projet ReSeed », *Patrimoines du Sud* [En ligne], 12 | 2020, mis en ligne le 01 septembre 2020, consulté le 02 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/pds/4568> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/pds.4568>

Ce document a été généré automatiquement le 2 septembre 2020.



La revue *Patrimoines du Sud* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Donner toute sa place au cercle méridien de Toulouse-Jolimont à l'aide d'outils numériques : l'exemple des travaux du projet ReSeed

Digital approach of the Toulouse-Jolimont meridian circle - Reseed experiment towards a scattered series embodiment

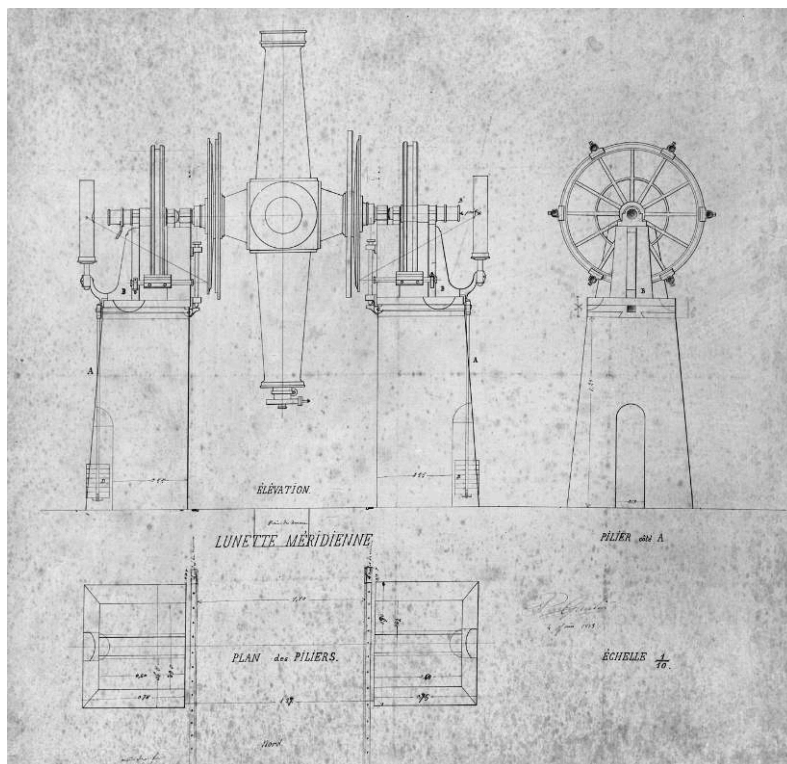
Amandine Bérard, Jean Davoigneau, Loïc Jeanson et Florent Laroche

- 1 De 1877 à 1891 les observatoires astronomiques institutionnels français s'équipent tous auprès d'un même constructeur, la maison parisienne Eichens-Gautier, d'un instrument fondamental pour l'astrométrie¹ : le cercle méridien. Ces huit instruments constituent une fausse-série d'instruments uniques, le constructeur améliore ses réalisations à chaque exemplaire, par des changements de matériaux et de nouvelles solutions techniques, mais surtout grâce aux échanges avec les astronomes-utilisateurs - échanges que nous qualifierions aujourd'hui de retours d'expériences. Ces instruments, dont les accessoires indispensables sont sans cesse améliorés et renouvelés au gré des avancées technologiques, furent utilisés jusqu'à la seconde guerre mondiale et pour certains jusque dans les années 1960. C'est une instrumentation embarquée sur des satellites qui les remplacèrent. À la fin des années 1990, un inventaire national du patrimoine astronomique fut mené, en collaboration entre l'Inventaire général et le ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur, au sein des observatoires astronomiques institutionnels français. Et après étude, les cercles méridiens des observatoires de Paris, Besançon, Lyon, Marseille, Toulouse, Hendaye et Bordeaux ont été soit inscrits, soit classés au titre des monuments historiques, de 1991 à 2018. L'instrument de l'observatoire de Toulouse - Jolimont fut le dernier installé en 1891 et le premier d'entre eux à être protégé au titre des monuments historiques en 1991 pour

le centenaire de son installation. Il est toujours en place dans son abri d'origine et reste un des mieux conservés.

- 2 L'installation des cercles méridiens accroît de manière significative la précision des mesures astrométriques pratiquées dans les différents observatoires français. Une estimation plus précise de la position des étoiles permet de mieux contrôler la marche des horloges et ainsi d'aboutir à une mesure plus précise du temps. Dans le dernier quart du XIX^e siècle, ce progrès trouve alors une application directe, répondant aux besoins des compagnies maritimes ou de chemin de fer, et des différents centres industriels – l'industrie horlogère en étant l'exemple le plus éloquent (fig. 1).

Fig. 1



Dessin à la plume de Paul Gautier dressé le 4 juin 1883, représentant plusieurs vues d'un cercle méridien et de ses piliers au 1/10^e. Archives de l'observatoire de Besançon, reproduction Jérôme Mongreville.

© Région Bourgogne-Franche-Comté, Inventaire général – © observatoire de Besançon

- 3 Faiseurs de temps, instruments fondamentaux, les cercles méridiens furent pensés pour être installés dans chacun des observatoires astronomiques institutionnels disséminés sur le territoire national, avec un programme de travail spécifique ; en faire une série n'est qu'une conclusion des études d'inventaire menées dans chacun des établissements. Aussi séduisante que puisse être l'idée de la « réunion physique » des lunettes, pour en faciliter l'étude ou l'exposition, cette mesure n'est en réalité ni réellement possible ni souhaitable. Tout d'abord parce que les opérations d'inventaire ont montré qu'il était difficile de considérer comme meuble un instrument si intimement lié à l'immeuble qui l'abrite et lui permet le plein fonctionnement. La précision de l'instrument, en effet, est assurée par la stabilité de la maçonnerie des piliers sur lesquels repose l'instrument, précision mesurée par des accessoires se déplaçant sur des rails insérés dans le sol de l'abri monumental de protection dont les

murs supportent également d'autres accessoires : potence du niveau, baromètre, chronographe, éclairage. Déplacer un cercle méridien revient à l'amputer de tout l'écosystème patiemment agrégé autour de lui. L'usage du numérique semble en revanche pouvoir permettre le rapprochement et la comparaison *virtuels* des différents instruments. La démarche peut également être étendue aux accessoires et aux abris. Par ailleurs, comme nous le verrons, les instruments nous sont parvenus dans des états très différents (démonté à Marseille, transformés à Paris et Bordeaux, exposé dans un musée à Lyon, soi-disant ayant retrouvé leur état d'origine à Hendaye, Besançon et Toulouse), là-encore l'outil numérique peut s'avérer une aide précieuse pour qualifier l'intégrité de cet état.

- 4 Le projet ANR ReSeed débute fin novembre 2016. Ce projet, financé par l'agence nationale de la recherche, cherche à expérimenter et développer l'usage d'outils numériques pour assister les métiers du patrimoine. L'équipe pluridisciplinaire se compose de chercheurs mécaniciens, informaticiens, historiens et professionnels du patrimoine. Chacun des professionnels voit l'étude des cercles méridiens avec son regard : des objets techniques, des instruments scientifiques, un moment technologique, une aventure métrologique particulière, une solution mécanique adaptée, une aventure patrimoniale inachevée, soit en fait autant de facettes séduisantes. Chacun prévoit un angle d'approche spécifique à sa discipline. Certains envisagent l'étude de sa calibration, d'autres l'étude de la précision des formes et des assemblages. Le constructeur Paul Gautier ayant construit des cercles méridiens pour des observatoires hors de France, on projette aussi pourquoi pas d'étudier la place de l'instrument comme véhicule du prestige de la France dans la science mondiale, etc. Les perspectives entrevues sont à l'unanimité jugées enthousiasmantes. Nous contactons les différentes institutions ayant sous leurs responsabilités les cercles afin d'entrevoir nos possibilités d'accès aux instruments et aux archives. Ce faisant, nous réalisons aussi l'importance que pourra jouer l'approche numérique dans notre capacité à appréhender le rapport de chaque instrument à cette série éclatée. À Toulouse, l'observatoire Midi-Pyrénées et la Société d'Astronomie Populaire de Toulouse manifestent rapidement leur intérêt et nous conduisent à numériser le cercle méridien de Toulouse - Jolimont durant l'hiver 2018-2019. Les autres partenaires se manifesteront chacun à leur tour, et en quelques semaines nous aurons l'occasion de scanner les sept cercles Eichens-Gautier du territoire métropolitain (fig. 2).

Fig. 2



Nuage de point de l'abri méridien dans le jardin de l'observatoire de Toulouse-Jolimont. On y discerne au milieu du pignon sud (à droite) la fente verticale séparant le bâtiment selon l'axe nord-sud, ainsi que les deux escaliers du mur ouest (à gauche), menant respectivement, de gauche à droite, à la haute porte d'entrée de l'abri, et à la petite ouverture carrée dans le mur

J. Davoigneau, L. Jeanson © ReSeed

- 5 Sur la colline de Jolimont, à une centaine de mètres de l'obélisque commémoratif de la bataille du 10 avril 1814, au centre du parc de l'observatoire², interrompant un parterre de gazon et deux alignements d'arbres taillés, trône depuis 1882 un petit bâtiment rectangulaire en rez-de-chaussée surélevé d'environ 9 mètres sur 8. Aux heures d'ouverture du parc, ce bâtiment comme les trois coupoles avec lesquelles il voisine, est fermé au public. Seul le promeneur attentif remarquera sur les deux murs pignons en prolongement des parterres de gazon parfaitement alignés du nord vers le sud deux grandes ouvertures verticales d'un mètre de largeur aux persiennes bien closes, partageant le bâtiment du faite du toit au soubassement sur près de 5 mètres de hauteur ; si notre visiteur poursuit son inventaire, il notera au centre de chacun des deux murs gouttereaux entre les baies la présence d'une intrigante ouverture carrée d'environ 20 cm de côté, à laquelle on accède par un petit escalier extérieur. Proche d'un second escalier menant à une porte, une signalétique précise que le bâtiment, appelé salle méridienne, abrite un cercle méridien construit et installé en 1891 par Paul Gautier, fabricant parisien d'instruments d'astronomie. Bien que depuis près de 40 ans, l'observatoire de Toulouse ait migré de la colline de Jolimont au campus de Rangeuil³, cet instrument astronomique établi il y a 130 ans se trouve toujours là au cœur d'un jardin public municipal, attendant l'ouverture des volets et trappes du bâtiment pour voir passer une étoile au méridien.

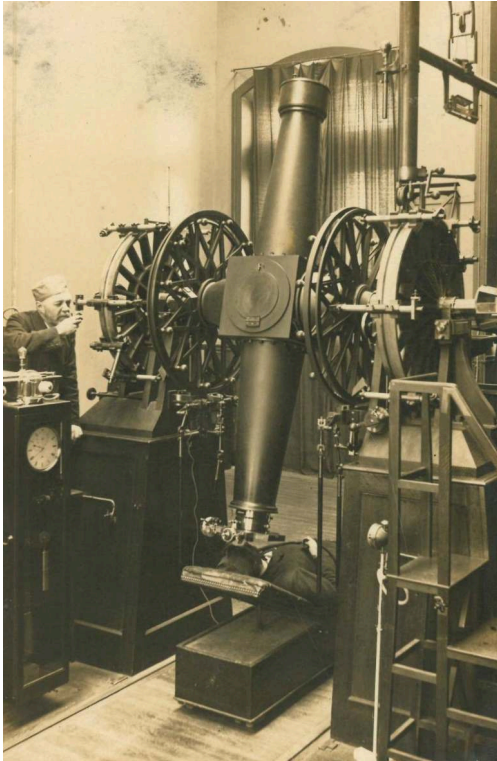
Les mesures méridiennes

- 6 Le cercle méridien est une lunette astronomique qui permet de déterminer précisément la position d'un astre sur la sphère céleste. Pour ce faire, on dote cette

dernière d'un système de coordonnées géocentrique, produit par son quadrillage en grands cercles imaginaires, les uns passant par les pôles célestes, les autres parallèles à l'équateur. La position de l'étoile se compose alors de deux mesures d'angles, la déclinaison (c'est-à-dire l'éloignement de l'équateur céleste) et l'ascension droite. Ce système est similaire à celui à l'aide duquel on localise un point sur le globe terrestre par les deux coordonnées que sont la longitude et la latitude. La déclinaison est analogue à la latitude d'un point sur la terre et se mesure en degrés ; l'ascension droite se mesure en heures. La connaissance précise et simultanée de ces deux données permet de dresser des cartes célestes et des catalogues d'étoiles. Pour estimer la déclinaison, l'astronome doit mesurer la hauteur de l'astre dans le ciel à sa culmination - c'est-à-dire au moment de son passage dans le plan méridien (ou plan nord-sud) du lieu d'observation. En notant également l'instant de passage de l'astre observé dans ce plan, il obtient l'ascension droite.

- 7 Un cercle méridien se compose justement d'une lunette astronomique dont l'axe optique ne peut balayer que le plan nord-sud, et d'un ou deux cercles gradués pour mesurer la hauteur des étoiles à leur culmination. L'intérêt de l'instrument tient dans sa simplicité de conception. La combinaison d'un cercle méridien et d'une horloge sidérale⁴ de précision fut à partir du milieu du XIX^e siècle, l'instrumentation astrométrique idéale dont tout observatoire important se devait d'être équipé. L'instrument est installé sur deux piliers maçonnés (le plus souvent monolithes) positionnés dans le plan est-ouest, supports de l'unique axe de rotation de la lunette, restreignant la mobilité de celle-ci à un seul degré de liberté pour l'observation dans le plan méridien. L'astronome, assis ou couché sur le dos, repère grâce à un réseau de fils perpendiculaires situé dans le plan focal de l'oculaire le passage d'une étoile dans le plan méridien et en note l'instant grâce à l'horloge sidérale de précision associée ; pendant ce temps un autre observateur relève sur le cercle gradué, à l'aide de microscopes, la hauteur de cet astre au-dessus de l'horizon. À partir de ces deux quantités, ils calculent les coordonnées de l'astre observé (fig. 3).

Fig. 3



Besançon (Doubs), les astronomes de l'observatoire posent ! Ils miment en plein jour leurs activités nocturnes : l'un couché sur le siège, l'œil collé à l'objectif de la lunette, relève l'instant de passage d'un astre au méridien, pendant que son collègue debout, regardant dans un des microscopes de lecture note la hauteur de l'astre.

Carte postale ancienne phototypie. Sans éditeur. 14 x 9. Coll. part.

- 8 En 1880, l'astronome Maurice Loewy (1833-1907), responsable des observations à L'Observatoire de Paris⁵, expose au ministre de l'Instruction publique l'intérêt scientifique des observations méridiennes : « Elles sont destinées à fournir dans l'espace, avec la plus haute précision qu'il soit possible d'atteindre, des points de repère désignés sous le nom d'étoiles fondamentales, par rapport auxquelles on détermine la position des autres astres qui peuplent la voûte céleste. [...]. De plus à côté de ces études qui contribuent à élargir l'horizon des connaissances humaines, et semblent à première vue ne présenter qu'un intérêt purement théorique, les observations méridiennes offrent à chaque pas des applications variées et d'une utilité toute pratique. C'est ainsi que par elles nous arrivons à déterminer les longitudes et les latitudes des principaux points du globe terrestre, et à fournir des bases certaines et indispensables aux sciences géographique et géodésique. Nous arrivons encore, par ces observations, à la connaissance exacte de l'heure, élément d'une importance fondamentale pour l'industrie horlogère, et qui joue un si grand rôle dans les transactions de la vie ».

Un faux départ

- 9 Les marins, les géomètres, les artilleurs et les astronomes savent depuis longtemps mesurer des angles à l'aide de secteurs de cercle gradués, qu'ils équipent rapidement après l'invention de Galilée de lunette munie de fil réticulaire. À la fin du XVII^e siècle, les mécaniciens améliorent considérablement la technique de division des limbes⁶ des

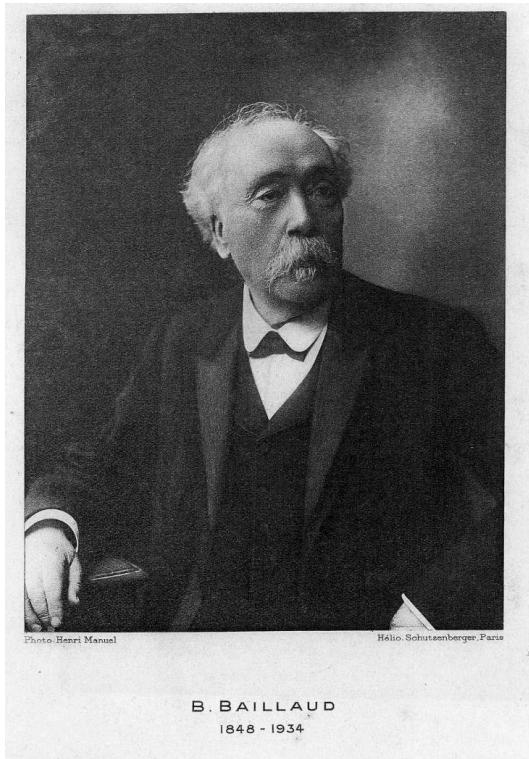
instruments. Dans le même temps, le développement rapide de l'horlogerie de précision permet de réaliser des horloges à balancier d'une très grande régularité de mouvement. L'abbé Jean Picard (1620-1682), astronome à l'observatoire de Paris, fut le premier à percevoir l'intérêt d'utiliser simultanément un secteur gradué muni d'une lunette et une horloge pour obtenir les deux coordonnées d'un astre lors de la même observation, pour cela il envisage de fixer sur un mur situé dans le plan méridien un quart de cercle muni d'une lunette ; l'instrument ne fut terminé qu'après sa mort. L'astronome danois Olaüs Rømer (1644-1710) qui avait été son élève à Paris⁷, chercha tout au long de sa vie à en améliorer le principe. Il décrivit, mit au point et utilisa intensément plusieurs instruments. Il acheva ses recherches par la construction d'un ultime instrument en 1704, qu'il dénomma *Rota Meridiana*⁸. Mais son génie mécanique fut longtemps incompris par les constructeurs d'instruments qui trahirent le plus souvent ses intentions les plus claires. Il ne fut véritablement reconnu qu'un siècle et demi plus tard, lorsque les astronomes travaillèrent en grande intelligence avec les constructeurs d'instruments.

- 10 En fait, les astronomes continuèrent à relever les coordonnées des corps célestes à l'aide du matériel technique que Rømer avait cherché à améliorer. Soit une solution combinant deux instruments d'observation et une horloge. Un premier astronome, équipé d'une lunette méridienne (ou instrument des passages), dont l'axe optique est situé dans le plan méridien et dont l'unique axe de rotation lui est perpendiculaire, note grâce à une horloge sidérale l'instant de passage au méridien de l'astre observé. Simultanément, un second savant relève à l'aide d'un grand secteur gradué muni d'une lunette la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon. Les inconvénients de cette solution sont multiples : les deux instruments sont-ils parfaitement installés parallèlement dans le plan méridien ? ces deux instruments différents, subissent-ils les mêmes déformations mécaniques liées à la pesanteur et aux conditions météorologiques ? Les deux lunettes ont-elles les mêmes propriétés optiques ? Les deux astronomes, visent-ils la même étoile ? Qu'en est-il de leurs compétences et savoir-faire respectifs ?
- 11 L'astronome Félix Boquet⁹, qui travailla de 1883 à 1911 au service du cercle méridien de l'observatoire de Paris où il fut successivement chargé des réductions des observations méridiennes, puis à partir de 1890 chargé du service de jour et enfin à partir de 1906 directeur du service, fort de sa longue expérience des différents travaux effectués dans un service méridien, a publié en 1909 un ouvrage en deux volumes consacré à la théorie et à la pratique des observations méridiennes, dans lequel il donne d'autres arguments négatifs à ce mode d'observation, déterminant pour le choix d'une instrumentation unique : « Cette disposition [à deux instruments] présente cependant un inconvénient, c'est qu'elle exige deux observateurs. De plus, lorsqu'on observe des astres très faibles, il peut arriver que le nombre de ces astres dans le champ de l'instrument soit assez considérable. Comme rien, à la simple vue, ne les distingue les uns des autres, si ce n'est leur éclat, les deux observateurs peuvent souvent ne pas observer la même étoile. On ne pourrait non plus songer à employer le cercle mural pour la détermination précise des ascensions droites, son mode de monture ne se prêtant pas, nous le verrons, à la détermination précise de son orientation. Pour obvier à cet inconvénient, les constructeurs modernes réunissent les deux instruments, lunette et cercle, en un seul. L'instrument prend alors le nom de cercle méridien »¹⁰.

L'équipement méridien à Toulouse

- 12 Lorsqu'en mars 1879, Benjamin Baillaud (1848-1934) est nommé directeur de l'observatoire de Toulouse¹¹, son établissement mesure toujours les positions des astres avec ce type d'équipement depuis longtemps obsolète. Le jeune directeur va poursuivre le travail de persuasion des autorités ministérielles parisiennes que menait déjà son prédécesseur et condisciple à l'École Normale supérieure, Félix Tisserand (1845-1896)¹², afin d'obtenir des instruments d'observation performants (fig. 4).

Fig. 4



Portrait de Benjamin Baillaud héliogravé par Schutzenberger à Paris d'après une photographie de Henri Manuel placée en frontispice de l'ouvrage *Benjamin Baillaud 1848-1934*. Toulouse : Édouard Privat, 1937, 175 pages.

© Bibliothèque municipale de Toulouse.

- 13 En 1838, le Bureau des Longitudes nomme Frédéric Petit (1810-1865)¹³ à la direction de l'observatoire de Toulouse. François Arago, membre du Bureau, incite celui-ci à attribuer également plusieurs instruments importants à l'observatoire de la ville de Toulouse. Frédéric Petit fera de cette dotation instrumentale méridienne complète le principal argument pour décider les édiles toulousains à construire un observatoire hors les murs. Mais cette instrumentation mise à sa disposition n'est pas neuve. Elle est composée d'un quart de cercle mural de Bird et d'une lunette des passages de Ramsden. Ce sont deux instruments importants de la fin du XVIII^e siècle, construits par deux grands constructeurs anglais de renom¹⁴. En 1871, l'ancien directeur Théodore Despeyroux les qualifie d'instruments historiques¹⁵ et souligne que « la lunette méridienne est celle que possédait l'Observatoire de Paris au commencement de ce siècle et qui a été mise au rebut en 1839 ; le cercle mural construit par Bird est celui dont s'est servi l'illustre Lalande à la fin du siècle dernier »¹⁶. Benjamin Baillaud le

rappellera lorsqu'il fera le bilan de sa direction de l'observatoire en 1907 : « En 1878, le matériel instrumental comprenait une lunette méridienne de Ramsden, qui était en service il y a un siècle à l'Observatoire de Paris (...). La lunette de Ramsden ne permettait que des observations des passages »¹⁷ (fig. 5).

Fig. 5



Toulouse (Hautes Pyrénées), coupe ouest-est du projet d'observatoire de Jolimont dressé par l'architecte Urbain Vitry en 1839. Dans la salle d'observation à l'est on distingue les deux instruments méridiens : le quart de cercle de Bird et la lunette des passages de Ramsden. L'observatoire qui sera achevé en 1844 diffère quelque peu de ce projet : le bâtiment est plus élevé car un soubassement important a été ajouté pour placer la salle d'observation plus en hauteur, celle-ci possède trois fentes méridiennes alors que le projet de 1839 n'en présente que deux.

© Archives municipales de Toulouse, papier calque, 42 x 47,5, cote 64Fi816

Des observatoires en compétition

- 14 De la Révolution à la chute du Second Empire, l'observatoire de Toulouse fut essentiellement une institution municipale. Sa réorganisation, fruit du décret de 1872, instaura également son rattachement aux autorités centrales : le ministère assurant la tutelle administrative et la communauté des astronomes la tutelle scientifique. À partir de cette date, les observatoires astronomiques de province, devenus établissements d'État, ne seront plus dotés d'instruments de seconde main, mais bénéficieront de crédits pour l'acquisition d'instruments neufs. En 1876, Tisserand réussit à obtenir les crédits suffisants pour commander une lunette équatoriale de 23 cm d'ouverture¹⁸ aux frères Brunner à Paris. Dans le même temps, l'observatoire de Marseille, ancienne annexe de l'observatoire de Paris, qui a acquis son autonomie par décret en 1873, a réussi en moins de trois ans à s'équiper d'un équatorial de 23 cm mais également d'un magnifique cercle méridien, tous les deux payés sur des crédits d'État. Il serait normal que l'observatoire de Toulouse reçoive la même dotation. L'instrument équatorial n'est toujours pas installé au départ de Tisserand pour Paris, il ne fut livré par les frères Brunner qu'en 1880. Aussitôt, comme le précise Jérôme Lamy dans sa thèse¹⁹, Baillaud le nouveau directeur reprend le combat pour obtenir un cercle méridien. Mais, plus

subtilement que Tisserand, il n'argumente plus en jalousant l'observatoire de Marseille ou de Lyon déjà équipés, mais en précisant que les observations des nouveaux corps célestes et celles des mouvements propres des petites planètes qui ne manqueront pas d'être faites avec le nouvel équatorial ont besoin que leurs coordonnées soient déterminées et mesurées avec soin, et que seul un instrument méridien de qualité le permettra. Il précise dans un courrier à son ministre de tutelle que « ces déterminations sont impossibles à l'observatoire de Toulouse qui ne possède pas d'instrument méridien »²⁰. La lutte sera longue : près de 10 ans. Afin de montrer sa détermination, il utilise des crédits de fonctionnement pour faire construire l'abri de l'instrument : une salle méridienne indépendante, qui sera achevée dès 1882. La salle méridienne n'est pas une coupole. Mais comme sa description le montrait dans notre introduction, c'est un bâtiment rectangulaire avec un toit à deux pans dont les murs pignons situés au nord et au sud sont percés sur toute leur hauteur de baies verticales prolongées dans la couverture par une ouverture zénithale permettant le pointage de la lunette dans le plan méridien. Ces ouvertures doivent pouvoir se fermer hermétiquement pour protéger l'instrument lorsqu'il est inutilisé. Afin de permettre des visées sur des mires situées au sud et au nord du bâtiment sur des piliers maçonnés, le plan méridien doit être dégagé au sein du parc de l'observatoire, d'où la présence de deux longs parterres de gazon, mais également au-delà des murs d'enceinte. Les astronomes veilleront à ce qu'aucun bâtiment, aucune cheminée ou grand arbre ne vienne obstruer le ciel, empêchant alors de pouvoir faire des observations méridiennes proches de l'horizon. Félix Tisserand avait dès son arrivée à la direction de l'observatoire redoublé d'efforts auprès des édiles toulousains pour agrandir le parc au sud ; ces achats de parcelles permirent de dégager de l'espace pour installer les coupoles des instruments équatoriaux de part et d'autre d'un méridien de plus de 250 mètres au centre duquel Baillaud fit construire par l'architecte de la ville la salle méridienne (fig. 6).

Fig. 6



Toulouse (Hautes Pyrénées), vue panoramique de l'observatoire prise depuis le sud. L'abri méridien est en place, les alignements d'arbres viennent d'être plantés, mais la mire sud n'est pas installée et la coupole de l'astrographe de la Carte du Ciel n'est pas construite non plus. Le cliché a donc été pris entre 1882 et 1889. Le cercle méridien n'étant pas encore installé, les observations méridiennes se font alors dans le bâtiment ancien dont on distingue nettement les trois fentes méridiennes.

© Archives municipales de Toulouse, tirage photographique collé sur carton, 10,5 x 14,2, cote 1Fi10536

- 15 Mais pour l'instrument, Baillaud joue de malchance, une fois les crédits attribués, ce sont les frères Brunner qui bien qu'ils s'étaient engagés à construire l'instrument, renoncent à le faire en 1887. Le directeur réussit à conserver les crédits, le cercle méridien est construit en 1890 par le mécanicien Paul Gautier. Benjamin Baillaud note en 1891 que « le mois de Janvier est consacré à l'installation du cercle méridien, Mr. Gautier séjourne à l'observatoire du 22 au 31 et s'en va l'instrument entièrement réglé (...) »²¹. En juin de la même année, est installée dans la salle méridienne à proximité du cercle méridien mais indépendamment sur un pilier monolithe dédié, une horloge sidérale portant le numéro 68 due à Auguste Fénon, horloger parisien (fig. 7).

Fig. 7



Toulouse (Hautes-Pyrénées), le cercle méridien Gautier de l'observatoire de Jolimont fin 2018. La fente méridienne de l'abri est ouverte. Outre l'instrument dirigé vers le sud, on distingue le pilier indépendant support les horloges, le siège de l'observateur, le niveau à bulle est positionné pour estimer l'horizontalité de l'axe de rotation.

L. Jeanson © ReSeed

- 16 Les différents directeurs Despeyrous, Tisserand puis Baillaud ont fait preuve de ténacité, ils ont multiplié les courriers, développé de multiples argumentaires afin d'obtenir cet instrument destiné à faire de l'observatoire de Toulouse, un observatoire « normal », c'est-à-dire de premier rang. Baillaud le martèle encore à son ministre en 1879 : « tous les observatoires sans exception, ont un instrument méridien construit suivant les exigences de l'astronomie moderne »²². Lorsqu'en 1891, soit douze ans plus tard, Toulouse est enfin équipé de son cercle méridien, il est en fait le dernier des observatoires institutionnels français à l'être. L'instrument est remarquable, il a bénéficié de toutes les améliorations que les mécaniciens ont apportées en quelques années aux cercles méridiens depuis celui installé à Paris en 1877.

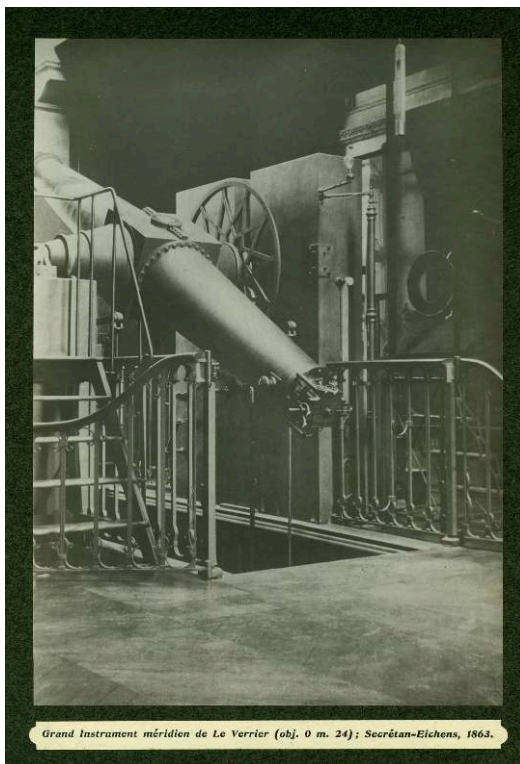
Le déploiement national d'une fausse série d'instruments

- 17 En treize ans, les huit observatoires institutionnels français sont chacun dotés d'un instrument méridien exceptionnel. Tous conçus sur le même principe, ils sont néanmoins uniques et constituent une série cohérente. La mise en place d'une instrumentation performante et de haute qualité dans un réseau unique d'observatoires institutionnels est le résultat d'une volonté politique d'équipement scientifique exceptionnelle qui anime la jeune III^e République, et qui vise également à

redonner à la France sa place dans le concert des nations grâce aux sciences et techniques, dont les soi-disant retards accumulés sont souvent avancés pour justifier l'humiliante défaite de 1870.

- 18 Pendant tout le Second empire, c'est l'observatoire de Paris qui donne le La. Urbain Le Verrier (1811-1877) qui succède à François Arago à la direction de l'observatoire de Paris à la mort de celui-ci en 1853, hérite d'un matériel méridien technologiquement dépassé, bien que relativement récent²³. À Londres, les travaux de Roemer ont été relus, et l'astronome royal George Bidell Airy (1801-1892), vient de faire installer en 1850, un cercle méridien²⁴ conçu par Ramsomes & May d'Ipswich pour la partie mécanique et Troughton & Simms de Londres pour l'optique. Le Verrier, fort du soutien de l'empereur, fait construire un cercle méridien par la maison parisienne Secrétan. Mais cet instrument, installé en 1863, que l'on a décidé de construire plus grand²⁵ que celui de Greenwich, s'avère néanmoins moins performant, bien que de construction soignée. Malgré son éviction à la chute de l'Empire, Le Verrier fait son retour à la direction de l'observatoire en 1873 et va se battre à nouveau pour la construction d'un nouvel instrument dont il ne verra pas la réalisation, mais qui cette fois s'avèrera excellent. C'est cet instrument obtenu grâce à la généreuse contribution d'un mécène de l'astronomie française Raphaël Bischoffsheim (1823-1906)²⁶, qui sera le prototype pour la réalisation des cercles méridiens des « observatoires de province » (fig. 8).

Fig. 8



Paris, vue du grand instrument méridien conçu par le mécanicien Wilhelm Eichens au sein de la maison Secrétan, qui fut installé en 1863 dans la grande salle méridienne de l'observatoire. Tirage photographique collé sur papier, constituant une des 63 planches d'un album photographiques consacré à l'Observatoire de Paris réalisé pour l'exposition de Lyon en 1914 sous la direction de Félix Boquet (astronome titulaire de l'Observatoire de Paris) par les photographes Richard & Bourdon.

© Bibliothèque de l'observatoire de Lyon – Saint-Génis-Laval. Reproduction Jean-Marie Reflé

Une série produite par des ateliers parisiens

- 19 Quelques mots sur les artistes mécaniciens constructeurs de cette série : en 1860, le jeune Paul Gautier (1842-1909) entre en apprentissage dans la prestigieuse maison d'optique de Marc Secrétan (1804-1867), et sa formation mécanique y est assurée par Wilhelm Eichens (1818-1894), alors directeur de l'entreprise. Lorsqu'en 1866, Eichens crée sa propre entreprise - avec l'assentiment de Marc Secrétan - Paul Gautier le suit. Dix ans plus tard, celui-ci fonde à son tour sa propre entreprise située 24, rue d'Enfer, à deux pas de l'observatoire. En 1880, lorsque la folie empêche Eichens de satisfaire ses commanditaires, Paul Gautier devient son partenaire et rachète finalement l'entreprise en 1881. La mécanique de l'instrument construit en 1863 dans les ateliers Secrétan a été réalisée par Eichens ; c'est dans ses propres ateliers à partir de 1866 que sera mis au point le cercle méridien dit cercle Bischoffsheim de l'observatoire de Paris en 1877. Puis il réalisera ceux de Marseille en 1878, Lyon en 1879 - instrument également financé par Raphaël Bischoffsheim, Hendaye 1880, Bordeaux 1881, qui sera terminé par Paul Gautier qui reprend l'établissement et continue la série en construisant ensuite sous son propre nom les cercles méridiens de Besançon en 1885, Alger en 1888 et enfin Toulouse en 1890, qu'il installera lui-même à Jolimont en janvier 1891²⁷ (fig. 9).

Fig. 9

	Installation		Atelier	Diamètre (Ø)		Distance focale	Etat en 2020	Instrument		Type d'abri	Abri	
	Date	Lieu		Cercle	Objectif			Protection MH	Date		Protection MH	Date
Unique	1863	Paris	Eichens	1m	23,6cm	3,85m	Ferailé	-	-	Salle méridienne	Classé	1926
Première génération	1868	Lima	Eichens	1m	18,9cm	2,35m						
	1877	Paris	Eichens	1m	18,9cm	2,32m	En place	Non protégé	-	Isolé	Inscrit	2009
	1878	Marseille	Eichens	1m	18,8cm	2,30m	Démonté	Classé	2003	Isolé	Détruit	
Deuxième génération	1879	Lyon	Eichens	80cm	15cm	2m	Exposé au Musée des Confluences	Classé	2012	Isolé	Inscrit	2007
	1880	Hendaye	Eichens	70cm	15cm	2m	En place	Classé	2004	Accolé	Classé	1984
	1881	Bordeaux	Eichens	1m	18,9cm	2,32m	En place	Inscrit (au titre immeuble)	2010	Isolé	Inscrit	2010
Troisième génération	1885	Besançon	Gautier	1m	18,9cm	2,37m	En place	Classé	2019	Isolé	Classé	2005
	1888	Alger	Gautier	1m	18,9cm	2,40m	En place	/	/	Isolé	/	
	1890	Toulouse	Gautier	1m	18,9cm	2,30m	En place	Inscrit	1991	Isolé	Non protégé	
	1890	Rio de Janeiro	Gautier	1m	18,9cm	2,35m						
	1890	La Plata	Gautier	1m	22cm	2,80m						
	1899	Athènes	Gautier	1m	16cm	2,30m						
1903	Tokyo	Gautier	1m	22cm	3,10m							

Tableau présentant les cercles méridiens Eichens-Gautier, de façon chronologique par leurs caractéristiques techniques et leurs statuts patrimoniaux. Les lieux d'installation des cercles dans les observatoires français du XIX^e siècle, constituant notre série, apparaissent en gras.

J. Davoine © ReSeed

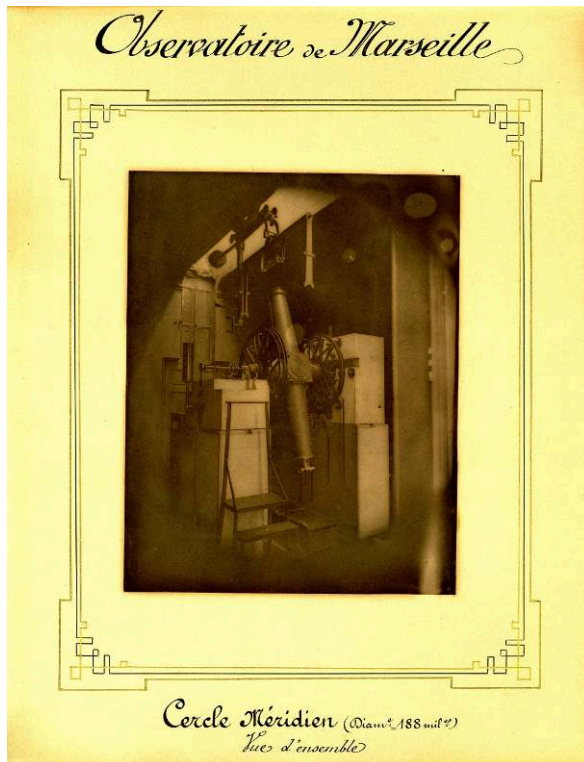
Biographie d'une série

- 20 En tenant compte à la fois de leur date de construction et de la signature de leur mécanicien, les huit instruments qui nous intéressent peuvent être répartis en trois

groupes : le premier regroupe les instruments de Marseille et de Lyon, le deuxième ceux de Lyon, Hendaye et Bordeaux, le troisième et dernier groupe rassemble les trois instruments entièrement construits par Paul Gautier, soit Besançon, Alger et Toulouse.

- 21 Lorsqu'il quitte la maison Secrétan pour créer sa propre entreprise, Wilhelm Eichens souhaite réaliser un cercle méridien sur lequel il apporterait des modifications susceptibles de corriger les erreurs de conception de l'instrument installé à Paris en 1863. Seule alors une institution comme l'observatoire de Paris, par le biais de son directeur, pourrait en faire commande, mais l'acquisition à un prix très élevé du cercle précédent est encore dans la mémoire des autorités, les seuls crédits possibles sont limités et donc seulement dévolus à l'amélioration du cercle Secrétan. Par ailleurs le caractère difficile d'Urbain Le Verrier l'a éloigné des cercles du pouvoir. La première commande viendra de l'étranger, où l'observatoire de Lima au Pérou souhaite acquérir un cercle méridien. Terminé en 1868, l'instrument démonté et mis en caisses part alors pour l'Amérique du Sud. Mais malheureusement Eichens n'aura aucun retour des astronomes péruviens sur le bien-fondé des modifications qu'il a apporté, car l'instrument ne sera installé qu'en 1889 et à l'observatoire de Santiago du Chili²⁸. De ce fait, lorsque près de dix ans plus tard, Urbain Le Verrier réussit à convaincre le banquier Raphaël Bischoffsheim de financer un nouvel instrument pour l'observatoire de Paris, et que dans le même temps Édouard Stéphan, le directeur de l'observatoire de Marseille, obtient le financement nécessaire à l'achat d'un cercle méridien, Eichens construit deux instruments quasiment identiques entre eux et fidèles au plan de celui de Lima. Les trois objectifs ont le même diamètre (18,9 cm), les distances focales sont similaires (Lima : 2,35 m, Paris : 2,32 m, Marseille : 2,30 m), deux piliers monolithes asymétriques supportent l'instrument, le plus élevé traversé par les 6 microscopes pour la lecture des hauteurs. Sont associés à l'instrument, des mires, des collimateurs, un bain de mercure, un grand niveau à bulle, ainsi qu'un chariot sur rail nécessaire au retournement de l'appareil : accessoires indispensables pour le calcul des fluctuations de position de l'instrument causés par les variations journalières de la température et de la pression atmosphérique qui exercent sur les parties mécaniques du cercle méridien des contraintes physiques altérant la précision des observations. La possibilité de retourner l'instrument pour au cours d'une nuit d'observation pouvoir calculer relativement facilement les constantes de l'instrument est une des importantes modifications apportées au modèle de 1863. Afin de pouvoir lire les hauteurs à l'aide des microscopes disposés sur un unique pilier, la lunette se doit d'être munie de deux cercles gradués ; cette disposition la rend de surcroît symétrique, ce qui lui assure plus de stabilité. Ces problèmes mécaniques qui entachaient d'erreurs les mesures faites au cercle Secrétan, sont grâce à ces possibilités et améliorations mécaniques pour certains supprimés et pour les autres mesurables, et donc le calcul des coordonnées des astres pourra en tenir compte et les résultats définitifs seront affinés (fig. 10).

Fig. 10

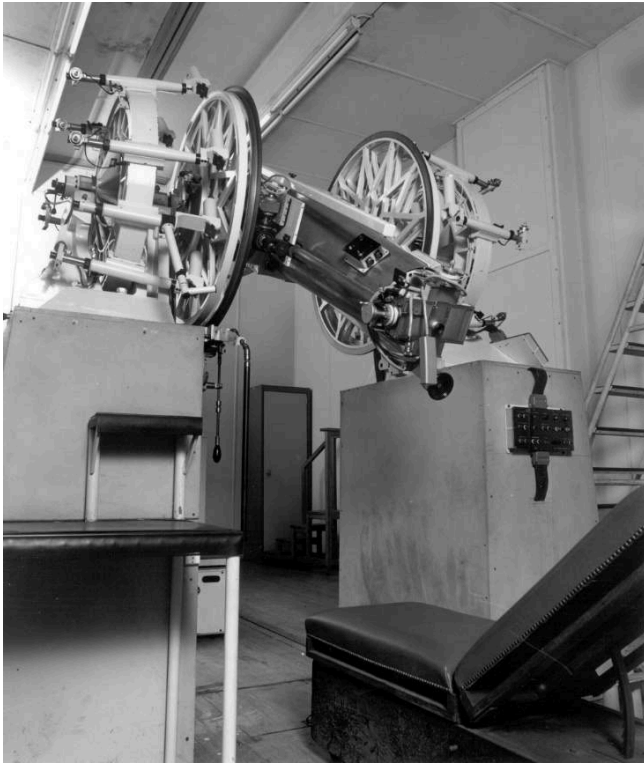


Marseille (Bouches-du-Rhône), vue du cercle méridien Eichens de l'observatoire de Marseille prise avant 1913 date de son démontage. Sa composition est identique aux cercles de Lima et de Paris : des piliers monolithes asymétriques, le plus grand est percé de trous pour les 6 microscopes de lecture ? L'instrument peut être retourné, mais la lecture des hauteurs ne se fait que d'un seul côté.

© Archives de l'observatoire de Marseille

- 22 Dès 1898, Paul Gautier transforme l'instrument parisien pour lui apporter les améliorations dont les générations suivantes d'instruments avaient été pourvues : piliers symétriques, deux cercles porte-microscopes, etc. Le cercle marseillais n'eut pas la même chance, il fut démonté en 1913 pour être transformé et réinstallé dans un nouvel abri qui ne vit jamais le jour ; il est toujours en caisses dans les réserves de l'observatoire ce qui nous a permis, dans le cadre du projet ReSeed, d'avoir accès à un instrument en pièces détachées, mais également à un instrument de la première génération de la série n'ayant été ni modifié, ni transformé. De manière diamétralement opposée, ces deux instruments jouent un rôle important dans le projet ReSeed et les valorisations postérieures qui devraient suivre. Pouvoir numériser pièce à pièce, un des cercles méridiens était pour nous fondamental, alors que les autres ont tous été numérisés assemblés. À Marseille, les chargés du patrimoine universitaire espèrent trouver avec l'outil ReSeed un moyen de valoriser un instrument démonté, difficulté rendu quasi insurmontable car l'abri méridien est aussi le seul à avoir été détruit. L'importance documentaire apportée par des pièces détachées dans la connaissance d'une série instrumentale est un des axes de valorisation possible. À l'observatoire de Paris, notre projet a également été pris avec intérêt alors qu'actuellement l'instrument n'est associé à aucun projet de valorisation. L'intérêt du projet ReSeed serait dans ce cas de redonner sens à un instrument qui fut à la fois le prototype de la série, mais également celui à partir duquel se constitua le réseau d'observations, de formation et de connaissances (fig. 11).

Fig. 11

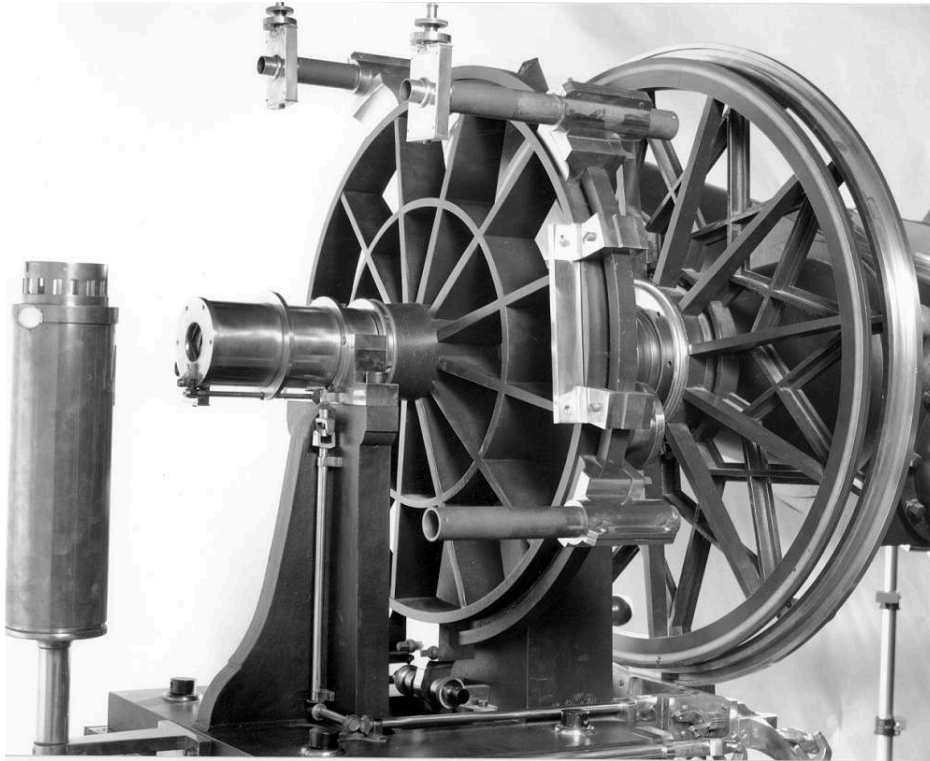


Paris, vue du cercle méridien Eichens de l'Observatoire, dit cercle du jardin ou cercle Bischoffsheim en 1995. En 1898, Paul Gautier a transformé l'instrument en rendant symétrique la composition de la partie support : deux piliers monolithes égaux portant chacun un cercle porte-microscopes de lecture. P. Fortin © Mission Inventaire général, ministère de la Culture

- 23 Lors de la construction de la génération de cercles suivante, Lyon 1879, Hendaye 1880 et Bordeaux 1881, Eichens tient compte dans sa construction d'un certain nombre de retours des astronomes. Les variations météorologiques journalières ne produisent pas les mêmes comportements physiques sur la pierre des piliers et le métal de l'instrument, de ce fait l'alignement entre les microscopes de lecture et les portions du cercle sur lequel se trouvent les graduations à lire varie, ce qui introduit une variable supplémentaire dans les mesures. Pour y remédier, Eichens impose deux piliers symétriques, et installe sur un des piliers un cercle métallique porte-microscopes sur lequel sont disposés quatre microscopes. Les trois instruments se différencient par leurs dimensions : les deux cercles gradués ayant respectivement un diamètre de 80 cm à Lyon, 70 à Hendaye et 1 m à Bordeaux ; le diamètre des objectifs de Lyon et Hendaye sont de 15 cm pour 2 m de distance focale, alors que le diamètre de l'objectif de Bordeaux et sa distance focale sont identiques aux autres instruments, soit 18,9 cm de diamètre et 2,32 m de distance focale. L'instrument d'Hendaye est unique au monde, Antoine d'Abbadie (1810-1897) stipule dans sa commande qu'il souhaite disposer d'un instrument décimal pour équiper l'observatoire qu'il installe dans son château. Les cercles sont donc gradués en grades et non en degrés. Le savant équipe également son observatoire d'une horloge sidérale décimale²⁹. En 1896, un an avant sa mort, Antoine d'Abbadie lègue sa demeure à l'Académie des Sciences dont il est correspondant depuis 1852 et membre depuis 1867. Son legs est soumis à deux conditions : l'observatoire ne pourra cesser de fonctionner qu'après la réalisation, à l'aide du cercle méridien d'un

catalogue de 500 000 étoiles et son observatoire continuera d'être dirigé par le directeur qu'il vient de nommer – l'abbé Alois Verschaffel (1850-1933). L'ecclésiastique organisera méthodiquement l'établissement et avec des moyens extrêmement modestes fera d'excellentes observations méridiennes ; il restera à la tête de l'observatoire jusqu'en 1922, date à laquelle toujours selon les termes du legs un autre ecclésiastique l'abbé Paul Calot lui succédera, qui lui-même, lorsqu'il quittera Abbadia en 1944, sera remplacé par un prêtre. Les observations au cercle méridien cessèrent en 1975 (fig. 12).

Fig. 12

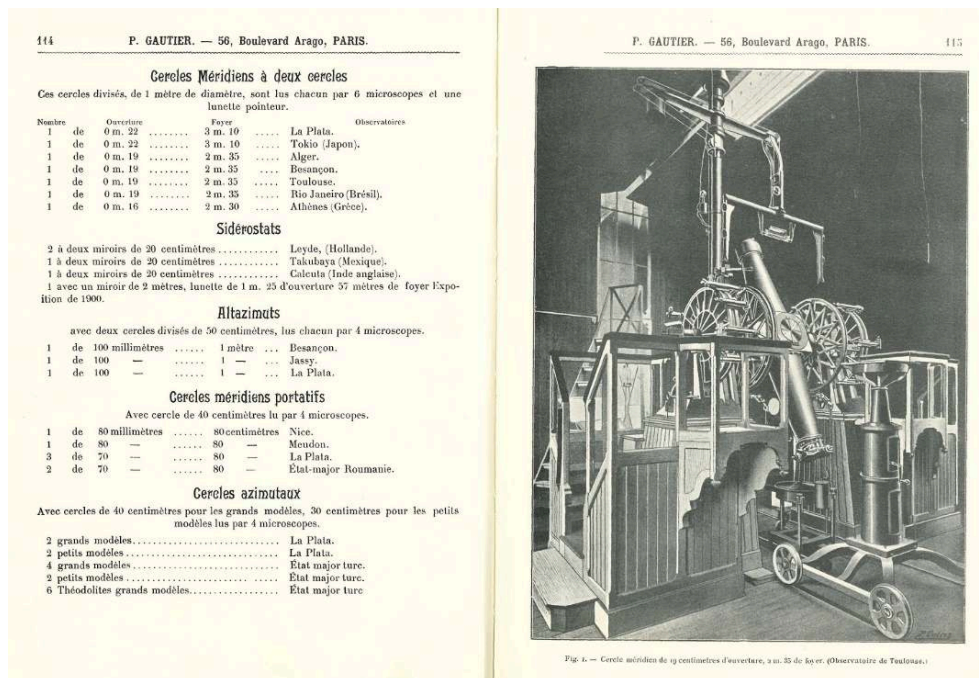


Vue du cercle porteur des 4 microscopes de lecture des hauteurs, du cercle gradué de l'instrument méridien de l'observatoire de Lyon. Ce cliché a été pris en 1995, lorsque le cercle de Eichens était stocké dans les réserves de la Cité des Sciences à Paris – La Villette avant de retourner à Lyon pour être exposé au musée des Confluences.

P. Fortin © Mission Inventaire général, ministère de la Culture

- 24 Les trois derniers instruments installés dans les observatoires institutionnels français, Besançon 1885, Alger 1888 et Toulouse 1890, sont rigoureusement identiques : lentilles de 18,9 cm de diamètre, cercles gradués d'un mètre de diamètre. Pour rendre l'appareil parfaitement symétrique, un deuxième cercle porte-microscopes a été ajouté, le nombre de microscopes de lecture passe de 4 à 6³⁰. L'ajout d'un second cercle porte-microscopes permet ainsi de doubler le nombre de lectures de la hauteur de l'astre observé en passant de 6 à 12 mesures, ces lectures étant par ailleurs faites sur les deux cercles gradués sans avoir à retourner l'instrument (fig. 13).

Fig. 13



Les pages 114 et 115 du *Catalogue de l'Industrie Française des Instruments de Précision 1901-1902* publié par le Syndicat des constructeurs en instruments d'optique et de précision. Paul Gautier présente son entreprise et ses réalisations sur 6 pages. Sur la belle page, vis-à-vis de la liste des sept cercles méridiens à deux cercles réalisés par l'entreprise, une gravure d'après photographie du cercle méridien de l'observatoire de Toulouse.

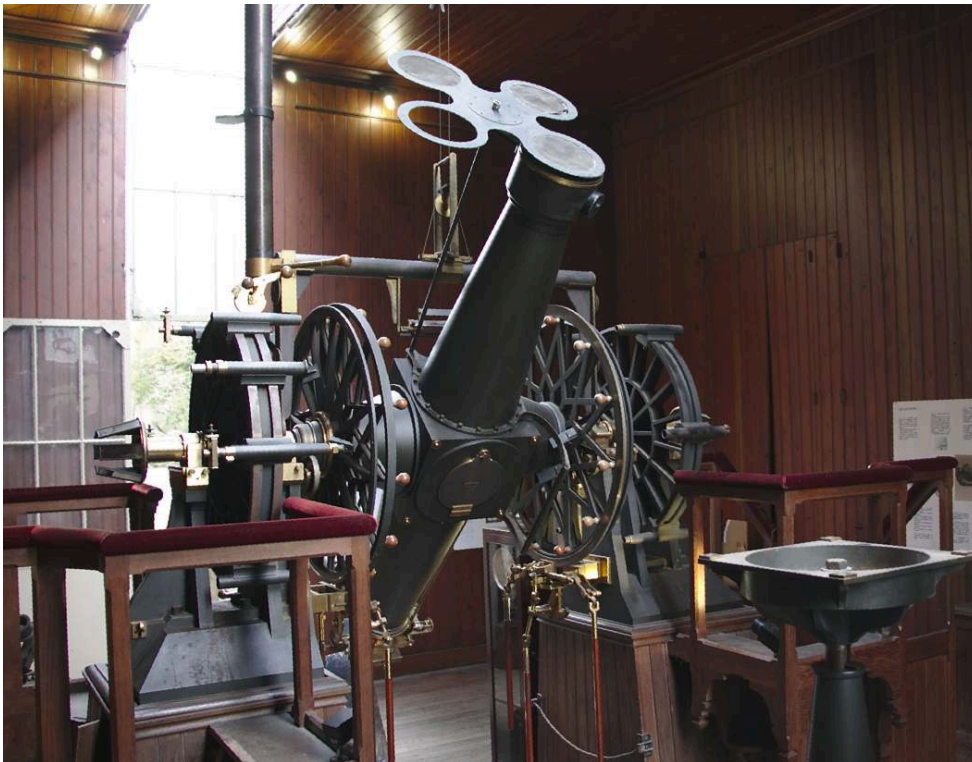
© Fac-similé, Paris : Alain Brioux, 1980, 271 pages.

Le travail ingrat effectué avec le cercle méridien toulousain

- 25 Dès la réception de l'instrument au début de l'année 1891, Benjamin Baillaud, directeur de l'observatoire de Toulouse, le confie à Dominique Saint-Blancat (1857-1925) qu'il avait recruté comme élève astronome en 1880, et qui avait été nommé astronome-adjoint en 1890 suite à de remarquables observations méridiennes à la lunette de Ramsden, malgré l'ancienneté du matériel et les piètres conditions d'installation de celui-ci. Il est responsable du service méridien et donc de l'instrument de 1891 à 1905. Il y effectue un travail considérable, mais fort peu gratifiant. Jérôme Lamy dans sa thèse sur l'observatoire de Toulouse explique que les astronomes des observatoires de province doivent à la fois faire preuve de solidarités en échangeant des données, mais également montrer à l'administration ministérielle parisienne leurs efforts et leur zèle individuels dans leurs activités scientifiques et pour cela multiplier publications et communications³¹. Une publication en particulier assure à la fois notoriété et prestige - les *Comptes rendus à l'Académie des Sciences*. Celle-ci paraît régulièrement et surtout connaît une extrêmement bonne diffusion dans la communauté scientifique nationale, mais également internationale. Malheureusement la division du travail dans un observatoire, le directeur distribuant instruments et travaux scientifiques à ses astronomes et s'attribuant certaines tâches à lui-même, détermine les possibilités de rendre compte de ses recherches. Ainsi Benjamin Baillaud entre 1878 et 1907 fait

parvenir 23 articles aux *Comptes rendus à l'Académie des Sciences* ; Eugène Cosserat (1866-1931)³², astronome adjoint responsable de l'équatorial de Brunner, publie 33 notes aux *Comptes rendus à l'Académie des Sciences* entre 1886 et 1907, alors que Saint-Blancat, responsable, n'en publie qu'une dans la même période et encore, cosignée avec Cosserat pour un travail effectué à l'équatorial de Brunner et non au cercle méridien. Le cercle méridien est une lunette astronomique qui ne permet aucune découverte, on y effectue des tâches ingrates, longues et fastidieuses dont les résultats sont compilés sous forme de tables dans les annales des observatoires. En 1900, Saint-Blancat rappelle à Baillaud qu'au service méridien il a « fait environ 45 000 observations d'ascensions droites et de distances polaires » et souligne qu'il n'a pas ménagé sa peine « en présence d'une besogne dont [l]a perspective [l'] effrayait ». Il conclut : « Le 31 mars 1900, j'ai pu vous faire la remise de mon travail ; c'est l'époque que vous m'aviez fixée lorsque vous me fîtes l'honneur de me confier le service méridien »³³. Et encore, la publication des coordonnées des astres observés n'est qu'une partie du travail, Saint-Blancat l'explique lui-même « Il faut étudier systématiquement l'instrument à tous les points de vue et par tous les procédés possibles. Cela demandera plus que des jours, des années même »³⁴ (fig. 14).

Fig. 14



Toulouse (Hautes-Pyrénées), le cercle méridien Gautier de l'observatoire de Jolimont fin 2018. Le cliché est pris depuis le sud-ouest de l'instrument. La fente méridienne de l'abri est ouverte. On distingue au premier plan la partie support de l'instrument du chariot de retournement.

L. Jeanson © ReSeed

- 26 Par exemple, pendant toute l'année 1892, l'astronome ne fait aucune observation d'étoile, toute son activité se consacre à l'analyse des divisions des cercles gradués, tout d'abord en examinant les divisions de 60° en 60°, puis en déplaçant les microscopes d'étude des traits de 20° en 20°. Les constantes instrumentales sont mesurées

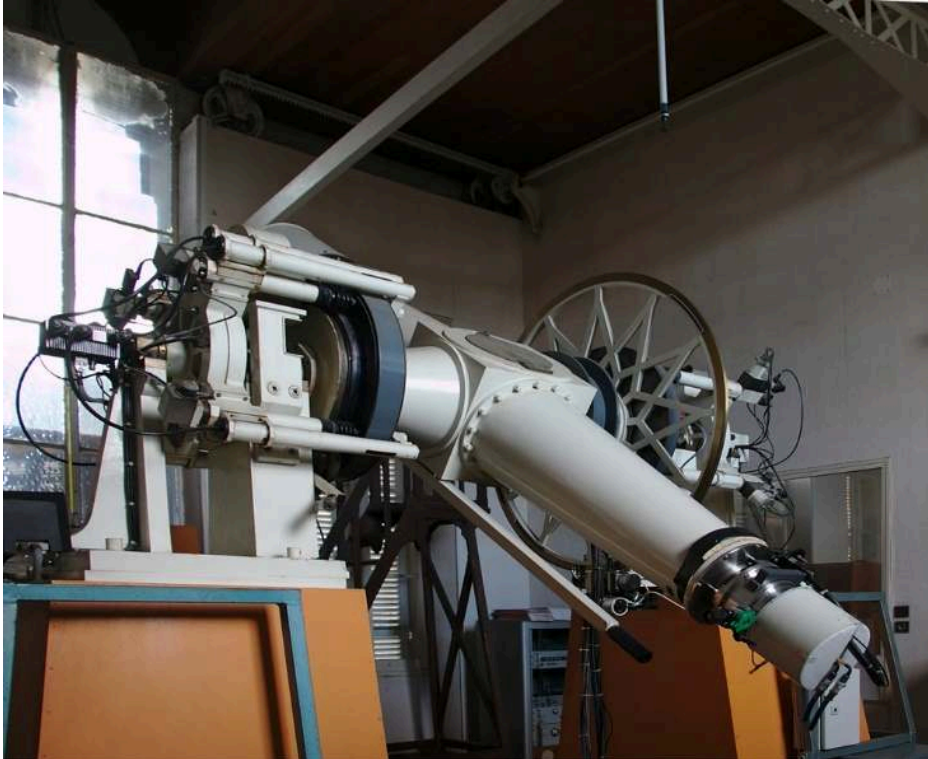
continuellement à l'aide dispositifs techniques : niveau à bulle, mires collimatrices, bain de mercure, etc. Le cercle méridien de Jolimont est utilisé jusqu'en 1948. Pendant ce temps ses utilisateurs se consacrent à établir plusieurs importants catalogues d'étoiles en liaison avec des travaux menés au sein de l'observatoire lui-même, ou bien dans le cadre de projets nationaux ou internationaux. L'appareil est peu modifié, seul un micromètre impersonnel sera installé en 1933. En revanche, toute l'attention se porte à l'amélioration de l'instrumentation associée, comme les horloges, qui sont entretenues avec soin par un mécanicien-horloger présent au sein de l'établissement, comme dans tout le réseau des observatoires de province, les importants progrès de l'horlogerie de précision pendant cette période, conduiront à leurs modifications ou remplacement ; pour un meilleur relevé des instants de passages un chronographe imprimant Gautier est installé en 1906. Les autres ajouts et modifications portent sur les instruments et appareillages nécessaires à l'estimation des constantes du cercle méridien : le grand niveau à enjambement permettant d'estimer l'horizontalité de l'axe de rotation est réparé, puis remplacé dès 1892, pour contrôler l'alignement de l'axe optique dans le plan nord-sud, on construit une mire nord pour compléter les visées faites sur la mire sud, un bain de mercure mobile est ajouté en 1894, en 1900 sont installées au nord et au sud au sein de la salle méridienne deux lunettes collimatrices prêtées par l'observatoire de Bordeaux ; un appareil d'étude des flexions du tube de la lunette est acquis la même année auprès de la maison Gautier, etc.

En attendant le satellite, la fin des activités

- 27 Après la seconde guerre mondiale, seuls les cercles de Paris, Besançon, Bordeaux et Strasbourg sont encore en service. Le cercle méridien de Strasbourg n'appartient pas à notre série. Bien que contemporain, il est de conception différente, construit en 1880 par l'entreprise hambourgeoise Adolf Repsold und Söhne pour équiper le nouvel observatoire universitaire impérial. Ce remarquable instrument, de plus petites dimensions (16 cm d'ouverture, 1,88 m de distance focale, des cercles de 88 cm de diamètre), rejoignit le réseau français après l'armistice de 1918, et fut utilisé jusqu'aux années 1960. Les astronomes de Paris et Besançon modernisent leur instrument pour affranchir les mesures de l'erreur introduite par l'astronome lui-même – constante individuelle dénommée « équation personnelle ». À Besançon, de 1969 à 1974, on automatise les mesures de l'ascension droite en installant à l'oculaire de l'instrument un photomultiplicateur, rendant ainsi la lecture de l'instant de passage de l'étoile totalement impersonnelle ; l'instrument fut ainsi utilisé jusqu'en 1980. Mais en fait les coefficients affectant la précision des mesures obtenus par ces modifications s'avèrent très faibles, les astronomes savaient depuis les années 1960 que si l'on voulait véritablement améliorer la précision des coordonnées d'un facteur équivalent à une puissance de 10, il fallait s'affranchir de la pesanteur. Pierre Lacroute³⁵ convaincu que le prochain instrument qui révolutionnerait l'astrométrie serait embarqué par un satellite, essaya à partir de 1965 de mobiliser ces collègues français, puis européens à cette idée. Un projet fut proposé à l'Agence spatiale européenne en 1980. Le satellite Hipparcos³⁶, éponyme de l'astronome grec à qui l'on doit le premier catalogue d'étoiles (800 étoiles), fut lancé de Kourou en 1989 par une fusée Ariane IV, et réalisa dès la première année un catalogue de 118 000 étoiles, puis par la suite, de 1990 à 1993 un second de 2,5 millions d'étoiles.

- 28 À Bordeaux, la modernisation de l'instrument à partir de 1964 fut plus longue, mais encore plus radicale, les astronomes automatisèrent à la fois les mesures des ascensions droites, mais également celles des déclinaisons en rendant l'instrument parfaitement autonome. Des programmes d'observations se poursuivirent jusqu'aux années 2000 (fig. 15).

Fig. 15



Floirac (Gironde), vue du cercle méridien Eichens de l'observatoire de Bordeaux en 2019. L'instrument est resté dans son dernier état de service, c'est-à-dire qu'il porte tous les accessoires ayant permis l'automatisation des mesures, seul un des deux cercles gradués est resté en place.

L. Jeanson © ReSeed

Une série inégalement reconnue

- 29 Le singulier état de conservation – démonté et mis en caisse – dans lequel se trouve le cercle méridien de l'observatoire de Marseille n'a pas été un frein à sa protection puisque celui-ci est classé au titre des monuments historiques depuis 2003, alors que son alter ego, celui de Paris est le seul de la série à ne pas bénéficier d'une mesure de protection.
- 30 À Bordeaux, l'instrument était encore utilisé dans un programme de recherche international lorsqu'il fut inventorié et protégé. Si la conservation régionale des monuments historiques de la DRAC Provence-Alpes-Côte d'Azur n'avait pas été découragée par un instrument démonté pour entamer une procédure de protection, leurs collègues de Bordeaux firent de même avec un instrument profondément transformé et encore en usage ; l'instrument fut inscrit monument historique en l'état avec son abri méridien en avril 2010³⁷. Les astronomes ont dorénavant quitté le site de

Floirac, abandonnant coupoles, abris et instruments d'observation, pour s'installer dans des bureaux au cœur du campus de Talence (fig. 16).

Fig. 16



Hendaye (Pyrénées-Atlantiques), vue du cercle méridien Eichens de l'observatoire du château Abbadia en 2006. L'instrument est installé dans son abri accolé au mur ouest de l'aile scientifique du château, on distingue dans la pièce attenante les horloges à diapason et à quartz qui ont remplacé les horloges décimales à balancier qui constituaient l'équipement d'origine.

M. Heller © Région Nouvelle-Aquitaine, Inventaire général

- 31 Le château d'Abbadia à Hendaye fut classé au titre des monuments historiques en décembre 1984, il bénéficia ensuite d'importantes campagnes de restauration. Labellisé Maison des illustres depuis 2011, il est ouvert à la visite. L'aile scientifique du bâtiment est pleinement intégrée au parcours, et l'instrument, classé en 2004, comme les projets scientifiques d'Antoine d'Abbadie largement mis en valeur. L'instrument lyonnais après démontage fut tout d'abord déposé pendant une trentaine d'années à la Cité des Sciences à la Villette où il ne fut jamais présenté au public. Puis à la demande d'un groupe d'astronomes lyonnais soucieux de leur patrimoine, il fut classé monument historique en 2012, avant de rejoindre le musée des Confluences où il est dorénavant exposé dans une salle intitulée « le temps et l'espace », dans laquelle il voisine avec des calendriers, des représentations de différentes cosmogonies et de panthéons asiatiques, des maquettes de satellites et des météorites, sans beaucoup d'explications. L'outil ReSeed constitue pour ces deux instruments un outil de valorisation dans des contextes certes communs d'ouverture au public, mais dont les raisons d'être sont quelque peu éloignées de la connaissance de la position des astres (fig. 17).

Fig. 17



Le cercle méridien Gautier de l'observatoire de Besançon en 2009. Si l'instrument est pratiquement identique à celui de Toulouse ; leurs abris diffèrent : celui de Besançon possède deux fenêtres encadrant la fente méridienne sur les murs nord et sud et pour dégager la fente zénithale, c'est la totalité des deux pans versants du toit qui coulissent sur des rails.

J. Mongreville © Région Bourgogne-Franche-Comté, Inventaire général

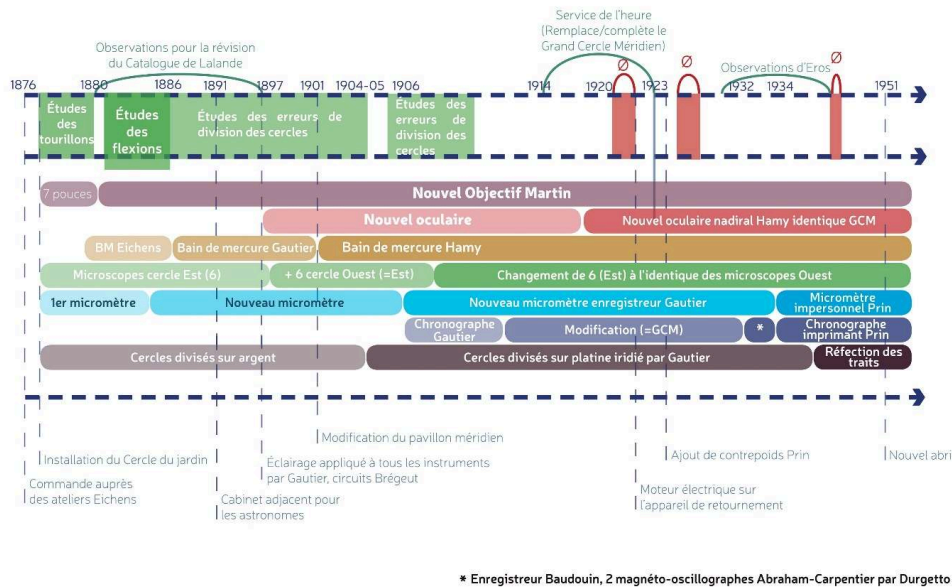
- 32 Les instruments de Besançon et Toulouse sont dans un très bon état de conservation, toujours en place dans leurs abris méridiens restaurés ; dans les deux cas, le système d'ouverture par toits roulants de la fente d'observation méridienne fonctionne. L'observatoire de Besançon est situé au centre de l'Université, il en est le cœur symbolique et est largement ouvert à la visite. C'est le seul site bénéficiant à la fois d'un classement monument historique au titre immeuble depuis 2005 et au titre des objets mobiliers depuis 2019. À Toulouse-Jolimont, même si l'état de conservation et la qualité de l'instrumentation encore en place sont plus que comparables, le site ne bénéficie pas encore des mêmes protections : les bâtiments d'observations anciens, sauf malheureusement l'abri méridien, sont inscrits au titre des monuments historiques depuis 1987, le cercle méridien comme les trois autres gros instruments d'observations installés dans les coupes du site sont également inscrits depuis 1991.
- 33 Si l'on met de côté le cas de Toulouse, la protection de l'instrumentation des observatoires français et donc de leurs cercles méridiens a suivi l'inventaire national du patrimoine astronomique mené à la fin des années 1990. Mais celle-ci a été faite de façon locale et non coordonnée par chacune des conservations régionales des monuments historiques à la demande de certains directeurs d'observatoire, mais surtout d'astronomes soucieux du patrimoine des établissements où ils travaillent ou ont travaillé. Chacune des directions régionales des affaires culturelles n'a eu à gérer que le dossier de protection d'un seul observatoire³⁸, donc ne travaillait qu'avec une seule communauté de chercheurs, persuadée de l'exceptionnalité de son patrimoine. La

protection du patrimoine astronomique institutionnel français, en cela, n'est pas le résultat d'une politique nationale cohérente. Malgré cela, en fin de compte tous les cercles méridiens (sauf deux : Paris et Strasbourg) sont protégés au titre des monuments historiques, mais l'un est inscrit au titre immeuble (Bordeaux), un autre est inscrit au titre objet (Toulouse) et 4 sont classés au titre objet (Besançon, Hendaye, Lyon et Marseille). Par conséquent, le fait qu'ils constituent une série n'est pas mis en avant et n'a à aucun moment constitué un argument, ni même été présenté comme un élément de contexte³⁹.

La quantification de l'erreur

- 34 Conçus pour établir les coordonnées sur la sphère céleste d'astres situés à des distances gigantesques, la qualité des travaux effectués à l'aide des cercles méridiens repose entièrement sur la connaissance de la précision avec laquelle ils sont menés. Dans leur recherche permanente d'une plus grande fiabilité des résultats, les astronomes ont équipé les cercles méridiens d'accessoires permettant d'une part de quantifier l'erreur de mesure et d'autre part, de renouveler le plus « facilement » possible la calibration de l'instrument pour améliorer cette mesure : mires, bains de mercure, chariots de retournement. Bien que soumis à des déplacements inhérents à des retournements incessants, les instruments apparaissent, de fait, immobiles en équilibre sur leurs piliers, sous leur abri, leur axe optique au centre de l'objectif fixant quel que soit son orientation un point du plan méridien. Les mires, accessoires immobiles et monumentaux, installées dans le parc de l'observatoire parfois même aménagées en dehors de l'enceinte principale de l'observatoire accentuant d'avantage le caractère monumental de cette installation.
- 35 La précision globale de l'observation s'obtient par l'utilisation successive et incessante de différents accessoires quantifiant l'erreur de précision par rapport à une référence. On cherche à s'assurer de l'alignement est-ouest de l'axe de rotation, de l'alignement de l'axe optique de la lunette sur le plan méridien, de l'alignement des mires par rapport à l'axe optique, etc. Avant toute observation, on cherche à connaître l'instrument, ses déviations propres et sa réaction aux changements extérieurs (hygrométrie, température, pression de l'air faisant varier les propriétés mécaniques de la lunette et optique de l'air) (fig. 18).

Fig. 18



Frise chronologique présentant l'installation et la succession des accessoires sur le cercle méridien du jardin, ou cercle Bischoffsheim, à l'Observatoire de Paris. On peut y trouver sur la ligne du haut les différents programmes scientifiques d'importance auxquels il a été associé, puis du haut vers le bas, les différents accessoires, et enfin dans la partie inférieure, les évolutions structurelles plus lourdes qu'ont connus le cercle et son abri.

A. Béard © ReSeed

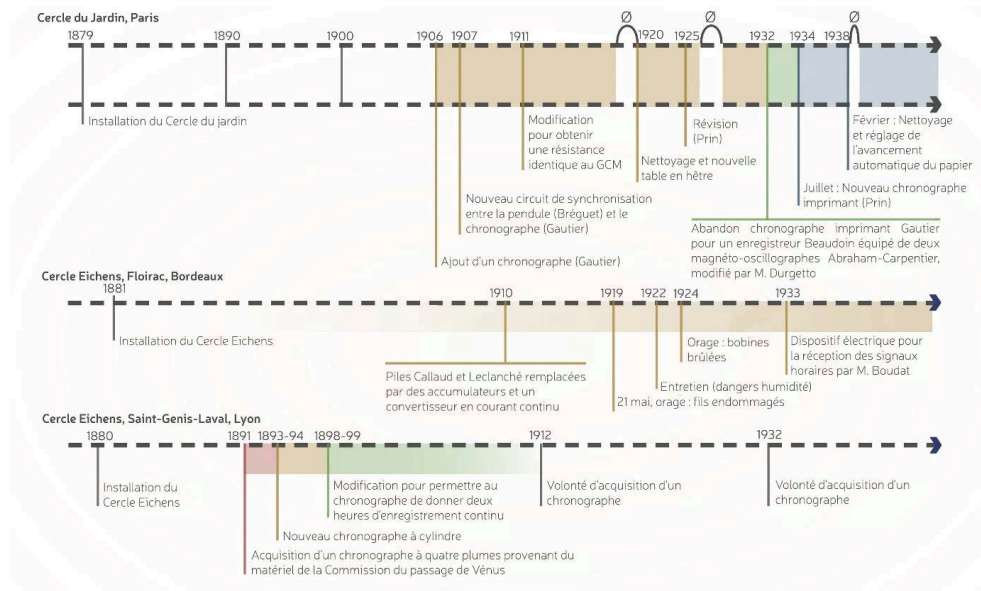
- 36 La plus fine connaissance de l'instrument ne suffit cependant pas à contenir l'erreur dans une marge connue. La mesure dépend en effet également du couple instrument-observateur, c'est pourquoi la quantification et le contrôle de l'inconstance statistique de l'observateur, qualifiée d'équation personnelle, d'une mesure à la suivante constitue le second chantier pour améliorer la fiabilité des observations méridiennes.

Une série d'instruments en évolution

- 37 Connaître les conditions dans lesquelles la mesure a été réalisée pour en corriger le résultat, voilà l'enjeu majeur pour la pérennité d'utilisation des cercles méridiens. Cet enjeu de taille s'est traduit d'une part par des activités particulières de formation des observateurs chargés des observations méridiennes et de calcul de leur équation personnelle et d'autre part par l'ajout d'accessoires supplémentaires sur les cercles visant à rendre impersonnelles les mesures.
- 38 Ces accessoires, installés et remplacés progressivement évoluèrent dans le temps, remplacés en générations successives. Tout comme aucune instance officielle nationale ne pilote l'utilisation des cercles méridiens en tant que série, l'implantation de ces accessoires relève là encore de la politique locale.
- 39 Si l'installation des cercles dans les observatoires de province a été décidée à Paris, en résultante à la politique de décentralisation de l'astronomie en France mise en place par Urbain Le Verrier et Maurice Loewy, leurs usages, maintenances et évolutions, à l'exception de quelques programmes internationaux d'importance majeure comme l'élaboration de catalogues d'étoiles fondamentales pour le projet de la Carte du Ciel, relèvent de la politique scientifique locale. De même, chaque directeur en fonction des

travaux astronomiques qu'il souhaite mener dans son établissement décide de l'installation et du remplacement des différents accessoires dont il souhaite équiper le cercle méridien de son observatoire (fig. 19).

Fig. 19



Frise comparative centrée sur un seul accessoire : le chronographe. On peut y lire l'installation et la modification du chronographe sur les cercles méridiens des observatoires de Paris (en haut), de Floirac (au milieu) et de Saint-Genis-Laval (en bas).

A. Béraud © ReSeed

- 40 Utilisés pour des travaux similaires, mais à des fins parfois différentes, majoritairement sans coordination, intégrant des évolutions individuelles au gré des besoins et moyens locaux, la série des cercles méridien articule la vie dense de chacun de ses instruments.
- 41 Étant aujourd'hui la propriété d'institutions diverses, dans divers lieux et états de conservation, dotés de capacités de médiation, les cercles méridiens, connaissent, dans leur vie patrimoniale, la même individuation. Ils ont été étudiés et documentés lors de la campagne d'Inventaire national du patrimoine astronomique français comme des items particuliers liés à l'instrumentation de tel ou tel observatoire et la campagne de protection qui a suivi a également procédé de la même façon comme nous venons de le voir. Si un article publié à l'issue des travaux d'inventaire dans la revue en ligne *In Situ*⁴⁰, a esquissé un historique du cercle méridien, de son invention à sa lente mise en place dans les observatoires occidentaux et plus particulièrement dans le réseau des observatoires français, il restait à faire un travail de synthèse sur la série, renouvelant le regard, dépassant la simple juxtaposition d'analyses individuelles des différents exemplaires, qui pouvait permettre de présenter les caractères morphologiques récurrents, les traits généraux de cette famille, l'évolution technique de l'instrument et dégager les singularités de chacun d'eux.
- 42 Le projet de rassembler les cercles méridiens pour faire exister la série en un seul espace détruit la lecture rendue possible par leur maintien dans leurs environnements d'utilisation. Les instruments, éloignés de leurs accessoires et bâtiments seraient alors incomplets et leur fonctionnement illisible. De même, il serait alors impossible de comprendre l'originalité des abris méridiens et de leurs nécessaires particularités

architecturales, les coupoles des instruments équatoriaux disséminés dans le parc qualifiant bien mieux un observatoire astronomique⁴¹. Pour contrevenir à ces problèmes, tout en donnant accès aux cercles méridiens en tant que série, pour la comparaison et l'explication des instruments entre eux, au travers de leurs évolutions apparaît le besoin de recours à la documentation numérique permettant de rassembler virtuellement les cercles et leurs abris.

ReSeed, une proposition de double numérique documenté pour agréger la connaissance

- 43 Le projet ANR ReSeed⁴², dont l'acronyme signifie *RétroConception Sémantique d'Objets Patrimoniaux Digitaux*, réunit quatre universités (l'École Centrale de Nantes, l'Université de Nantes, l'Université de Technologie de Compiègne et l'Université de Technologie de Troyes), deux entreprises industrielles (MCC Héritage et DeltaCAD) et deux institutions patrimoniales (le musée des Arts et Métiers et la mission Inventaire général du patrimoine culturel du ministère de la Culture) en un consortium pluridisciplinaire.
- 44 Ce rassemblement de métiers et de cultures scientifiques diverses est motivé par les situations analogues à celle que connaît la série de cercles méridiens Gautier, c'est à dire lorsque la dimension spatiale ou temporelle des objets patrimoniaux complique leur pleine appréhension. Nous cherchons des solutions guidées par les perspectives prometteuses d'utilisation d'outils numériques pour la construction de connaissance et l'agrégation de documentation.
- 45 À ces enjeux scientifiques patrimoniaux se combinent ceux de la modélisation informatique. Le développement et l'étude critique d'outils numériques dans des travaux d'étude et de valorisation patrimoniale permettent une approche réflexive d'une part sur l'efficacité des pratiques patrimoniales informatisées, mais également sur des enjeux informatiques (filtrage, altération, perte d'information) inhérents aux différentes approches de modélisation (sémantiques ou graphiques).
- 46 La proposition de ReSeed est celle d'un conteneur d'informations structurées au fur et à mesure de la création du double numérique de l'objet patrimonial étudié. Nous héritons ce concept de double numérique des pratiques de l'*Industrie 4.0*⁴³, c'est-à-dire d'une dynamique de recherche portée par l'industrie manufacturière qui suit l'évolution des objets tout au long de leur vie. L'ensemble des informations regroupées présentant en détail les différents changements survenus sur l'objet, intégrés à une maquette 3D, prenant le titre de *double numérique*.
- 47 L'industrie manufacturière utilise ce double numérique pour documenter, au fur et à mesure, les différents moments de la vie du produit : développement d'un modèle, puis production et contrôle qualité de chacun des produits, usage et maintenance, réparations, rénovation, intégration d'innovations, etc. Dans les travaux patrimoniaux les différentes phases antérieures de la vie de l'objet ne pouvant plus être suivies au fil de l'eau, elles sont retracées a posteriori, par l'agrégation de documentation, livrant la connaissance la plus complète possible de l'objet, tout au long de ses usages, jusqu'aux usages patrimoniaux.
- 48 La clé de la constitution d'un double numérique tient dans la complétude de l'information à disposition, sans cesse améliorée par la réalisation d'un processus en trois composantes.

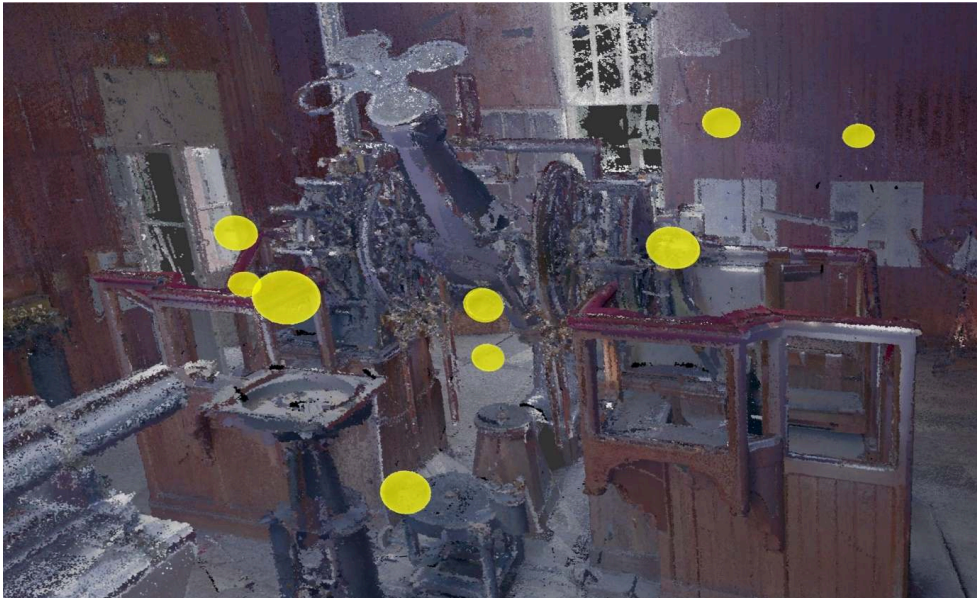
- 49 Ce processus cherche d'abord à enregistrer des traces de l'objet par le récolement, l'indexation et l'archivage mais aussi la production de documentation sous toutes ses formes (photographies, représentations 3D, analyses, archives...). Deux actions se succèdent ici : la création de documentation numérique (à partir de documentation « traditionnelle » et de création de documentation nativement numérique) et l'extraction des informations contenues dans cette dernière pour en permettre des analyses numériques.
- 50 Une étape de modélisation du bien et des éléments constitutifs de ses multiples contextes s'ajoute ensuite. Il s'agit ici d'explicitier et de relier entre eux les éléments significatifs permettant la compréhension des enjeux patrimoniaux, et ainsi y associer la documentation et les archives, mais également en décrire la dynamique d'évolution.
- 51 Enfin, la dernière composante du processus s'attache à la conservation et la valorisation des informations ainsi rassemblées et produites. L'enjeu est alors de contextualiser et d'exploiter les informations récupérées selon différentes finalités : médiation pour le grand public, outil d'analyse pour le chercheur en histoire ou pour l'amateur éclairé, sur le site patrimonial, en musée, à distance, etc.
- 52 Le principal verrou scientifique réside dans l'accompagnement de ces trois dynamiques, le plus souvent cloisonnées, par un seul outil numérique.
- 53 L'étude des biens de patrimoine, mais également l'étude de la documentation et l'explicitation de son contenu permet de modéliser d'une part la forme des objets (par modélisation CAO ou par numérisation par LiDAR⁴⁴, photogrammétrie, etc.), mais également d'autre part les différents systèmes (sociaux, économiques, scientifiques, fonctionnels, etc.) contextualisant les biens patrimoniaux. En tissant les relations entre ces différents éléments (modélisations de forme, de systèmes, documentation et informations contenues) nous sommes en mesure d'explicitier certains aspects de la connaissance des biens, produisant une synthèse sourcée, permettant l'exploration visuelle et arrêtant le travail existant sur lequel se baser pour approfondir plus avant l'étude des biens.

ReSeed et les cercles méridiens

- 54 Dans notre travail sur la série de cercles méridiens, nous avons distingué trois zones d'influence des outils numériques : les nouvelles formes de documentation, l'organisation des informations et enfin les visualisations ou les nouvelles formes de synthèses.
- 55 L'expérimentation commence par la création de documentation numérique, condition *sine qua non* à la possibilité d'un travail informatique. Par chance, les archives de l'observatoire de Paris sont déjà pour une part significative numérisées et accessibles en ligne⁴⁵ ; il en va de même, dans des proportions variables pour les Archives Nationales et pour les archives départementales. Restaient les cercles méridiens eux-mêmes seulement concernés par différents média documentaires traditionnels. La question de leur documentation numérique fut pour nous un terrain propice à l'expérimentation de la numérisation 3D. Nous avons comme matériel privilégié un scanner *Leica BLK360*, plutôt destiné au travail des architectes et géomètres. Rapide, il offre des résultats corrects pour la capture des formes intérieures des bâtiments, pour des volumes inférieurs à 2000 m³. Les formes complexes des instruments nous ont

contraints à multiplier les prises de vues (aussi appelées *stations*) pour récupérer le plus grand niveau de détail possible sur les instruments, leurs formes et la texture de leurs matériaux. Les différentes prises de vues se complétant les unes les autres par agrégation pour composer le modèle 3D (fig. 20).

Fig. 20



Nuage de points de la lunette de l'Observatoire de Toulouse-Jolimont. Chacun des cercles jaunes correspond à une « station », c'est à dire à une prise de vue. Une fois combinées, elles produisent l'image 3D de l'objet. En multipliant les stations on limite les angles morts et augmente la complétude du modèle 3D.

L. Jeanson © ReSeed

Ordonner la documentation et les informations

- 56 La collecte ou la création de documentation relative aux cercles ne résout pas la question, pourtant très classique de l'organisation et de la classification des documents et de leurs informations. L'organisation des informations pour faciliter les travaux patrimoniaux, voilà le deuxième aspect où le numérique nous semble devoir être source de soutien. D'un point de vue opérationnel, nous avons choisi d'utiliser une plateforme de publication en ligne de documents et d'informations, *Omeka S*, mais avec laquelle nous n'avons rien cherché à publier. Nous nous en servons comme une plateforme de travail collaboratif, pour y agréger la documentation et les informations pertinentes que nous rencontrons. Dans un second temps, il nous sera toujours possible de rendre plus largement accessible informations et documents.
- 57 *Omeka S* permet de modéliser des systèmes, c'est à dire que l'on peut y définir des objets et des types d'objets, leur attribuer des propriétés, des qualificatifs, expliciter des relations entre différents objets... Nous avons ainsi créé différentes fiches, concernant les instruments, mais également les services méridiens, différents astronomes ou constructeurs, etc. Les instruments méridiens et leurs sous-composants sont ainsi rassemblés dans des fiches. Par exemple, dans la fiche descriptive du cercle méridien du jardin de l'observatoire de Paris, on peut voir se dessiner la composition structurelle

du cercle méridien : supports et montures de microscopes, bain de mercure, micromètres et oculaires, ...

Fig. 21

Title	Alternate label	Class
Supports et montures des microscopes des piliers Est et Ouest du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object
Micromètres et oculaires du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object
Bains de mercure du Cercle du Jardin (appareils Nadirals)		Physical Object
Cercles divisés du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object
Collimateurs zénithal du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object
Fût, axe et cercles de contact du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object
Piliers du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object
Objectif du Cercle Méridien du Jardin		Physical Object

Extrait de la fiche Omeka du cercle méridien du jardin, dit Bischoffsheim. On peut y lire les composants et accessoires également présents dans notre base de données (cercles gradués, collimateurs, bains de mercure, micromètre, etc.) modélisant le cercle méridien comme un système technique.

A. Bérard © ReSeed

- 58 Dans une même logique, les fiches des différents acteurs de l'histoire des cercles méridiens rassemblent les éléments biographiques qui nous ont semblé utiles. La fiche biographique descriptive de l'astronome Félix Tisserand présente sa carrière commencée à l'observatoire de Toulouse (fig. 22).

Fig. 22

Metadata	Linked resources
Class	Person
Title	Félix Tisserand (1845-1896)
Alternative Title	François Félix Tisserand (1845-1896)
Geburtsdatum	1845-01-13
Place of Birth	Nuits-Saint-Georges, Côte-d'Or, France
Date of death	1896-10-20
Place of death	Paris, France
Profession or occupation (Literal)	Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris (24/09/1866) Directeur de l'Observatoire de Toulouse (1873) Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris (1878) Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris (1883-1884) Directeur de l'Observatoire de Paris (4/08/1892-20/10/1896) Observatoire de Paris
Biographical or historical information	Félix Tisserand est né le 13 janvier 1845 à Nuits-Saint-Georges (Côte-d'Or) où son père était tonnelier. Il fit ses études au lycée de Dijon. En 1863, il entra à l'École normale supérieure ; il enseigna les mathématiques pendant

Extrait de la fiche Omeka constituée autour de Félix Tisserand. Modélisé par différents aspects biographiques, l'acteur intègre ainsi notre base de données et peut ainsi être lié à des objets ou des activités scientifiques auxquelles il a participé.

A. Bérard © ReSeed

- 59 Grâce à la souplesse de l'outil *Omeka S*, il nous a été possible de constituer en fait tout au long du projet nos propres fiches structurées en rubriques spécifiques, utilisant les

vocabulaires que nous jugions les plus adéquats par rapport à nos questionnements pluridisciplinaires. C'est sans rejet à priori que nous n'avons pas cherché à utiliser des structures de bases de données préexistantes, avec leurs structurations et leurs vocabulaires dédiées, mais à construire des outils propres à notre sujet d'étude.

- 60 La troisième zone dans laquelle le numérique nous semble pouvoir soutenir le travail, c'est dans la production de visualisations de synthèse. Il est facile de récupérer, compiler, transformer les informations accumulées et structurées par un outil comme *Omeka S*. Produire des représentations visuelles de ce que nous avons modélisé nous semblait être une façon directe d'en donner l'accès. Nous cherchions à comprendre l'évolution dans la conception et dans l'intégration d'amélioration à ces objets, au cours de leur vie. Une réflexion chronologique s'imposait, aussi nous avons cherché à produire des frises présentant les lunettes et les différents composants, comme le montre, par exemple, la frise chronologique du cercle méridien de l'observatoire de Jolimont. Ces frises nous ont permis une analyse à l'échelle de chacune des lunettes, mais également de comparer une lunette à une autre, et par élargissement fournir une analyse synthétique de la série.

Bilan

- 61 L'outil technologique produit par le projet ReSeed a comme finalité d'aider à l'agrégation et au partage d'informations et de connaissance sur les objets patrimoniaux, par la connexion de ses différentes modélisations.
- 62 D'un point de vue pratique, l'outil ReSeed se décline en une interface informatique donnant l'accès à des modules de manipulation de la documentation (visualisation et annotation), ainsi que la modélisation des différents systèmes mis en jeu.
- 63 Plusieurs déclinaisons de l'outil sont envisagées, encore peu détaillées, mais pour répondre aux besoins différents des publics et des professionnels.
- 64 Afin de garantir l'authenticité de la donnée numérique, l'utilisation d'une chaîne de blocs (*blockchain* en anglais)⁴⁶ est envisagée. Ce système de signature des données permet de tracer leurs modifications successives, inhérentes à leurs utilisations. Le numérique apporte alors ses propres mécanismes pour gérer l'intégrité et l'authenticité documentaire et des informations.
- 65 Le chercheur peut ajouter des informations, créer des liens sur le corpus (textuel et 3D), puis étudier et commenter son analyse pour créer un récit historique. Pour sa part, le public peut voir/consulter des infos et accéder aux sources, en faisant varier les paramètres temps et espace ; il peut également suivre le récit d'un chercheur.
- 66 L'outil ReSeed en intégrant plusieurs dimensions (spatiale, temporelle, conceptuelle, sémantique...) permet de donner une structure aux données hétérogènes et de modéliser tout type de données. De plus, il se compose d'un système de traçabilité des données et du récit (mis en relation avec ses données sources) autorisant un regard extérieur et critique sur l'intégrité et l'authenticité du résultat.
- 67 Le prototype de l'outil actuellement accessible⁴⁷ permet d'explorer virtuellement la numérisation 3D des cercles méridiens. Aussi bien au niveau de la série que pour chaque lunette individuellement. Les cercles sont visibles isolés ou en contexte, dans leurs bâtiments au travers d'un système de Réalité Augmentée⁴⁸ (fig. 23).

Fig. 23



Image produite par le prototype ReSeed. Le nuage de points du cercle méridien de l'observatoire Besançon devient support de l'information, des repères cliquables permettent d'accéder à différents documents consultables au travers du modèle 3D.

F. Laroche © ReSeed

- 68 Les connaissances des chercheurs et professionnels du patrimoine viennent alors enrichir la visualisation de l'objet patrimonial ; les données, situées dans l'espace virtuel et « attachées » à de l'objet, sont de plusieurs types :
- Notices sur le lieu et/ou l'objet
 - Frise chronologique d'évolution de l'objet patrimonial
 - Archives, iconographie historique et/ou contemporaine
 - Interviews d'utilisateurs
 - Vidéos in-situ, reportages, technique...
 - Autres contenus (thèse, documentation générale, liens web externes...)
- 69 La création de fiches synthétiques, rassemblant des informations depuis de nombreux documents change le point de vue. La place des services méridiens dans la société s'éclaire d'un jour nouveau. On voit se dessiner les carrières, et les échanges de personnel entre observatoires (tels Félix Tisserand ou Benjamin Baillaud qui tous les deux sont devenus directeur de l'observatoire de Paris après avoir dirigés successivement celui de Toulouse). De même, à partir du dépouillement des annales des différents observatoires ou des articles scientifiques publiant les résultats des travaux, la production de frises chronologiques, véritable biographie de chaque instrument, facilite la comparaison entre cercles méridiens. Cette forme de restitution permet de visualiser, par exemple, les concordances, ou les différences de dates pour l'acquisition ou le remplacement de tel ou tel accessoires entre les observatoires. On peut par ailleurs y lire en négatif la vigueur des recherches scientifiques à propos de ces

accessoires, mais aussi les difficultés pratiques liées à leur utilisation, qui menèrent à la succession de modèles, cherchant à améliorer les résultats et faciliter leur utilisation. Mais ces frises chronologiques ne reflètent par ailleurs que l'image de la documentation explorée.

Conclusion et perspectives

- 70 La pluralité des approches et l'introduction de nouveaux outils et de nouveaux moyens de documentation nous a permis de nous approprier les instruments de la série.
- 71 Il est bien difficile à l'œil non initié de comprendre au premier regard la dépendance du cercle méridien bien abrité dans son bâtiment, aux mires installées sur des piliers à plusieurs dizaines de mètres dans le parc de l'observatoire. De même qu'il est bien difficile de soupçonner le temps de calibration nécessaire à chacune des innombrables mesures relevées quotidiennement au cercle méridien, les gestes précis et les savoir-faire acquis pour le faire. La mise en évidence des différentes utilisations des cercles, leur rôle dans une société et une science en évolution, et puis leur transformation en objet patrimonial implique de recourir à des moyens de médiation, que nous avons cherché à compléter par la numérisation tridimensionnelle, une technique documentaire nouvelle, encore en maturation.
- 72 Aujourd'hui, immobiles car sans usage, inutiles car obsolètes, ces instruments ne retrouvent leur pleine dimension qu'en combinant des approches documentaires plurielles mettant en œuvre de nouvelles technologies, en prenant le temps de la manipulation et celui de l'explication des contextes scientifiques, humains, politiques et techniques dans lesquels ils furent conçus, modifiés et utilisés.
- 73 Nos efforts vers la manipulation virtuelle de l'instrument sont encore infructueux, mais nous constituons progressivement les moyens de diversifier les dispositifs de recherche, de médiation et de valorisation des cercles méridiens. Nous espérons au cours des années 2020 et 2021 pouvoir restituer grâce à l'outil, sous forme de conférences d'abord, en un lieu autour d'un cercle méridien la dimension sérielle de ce type d'instrumentation⁴⁹.
- 74 De nouveaux questionnements nous sont apparus au cours de notre projet. Techniques et technologiques sur les moyens à mettre en œuvre pour la constitution, la diffusion, l'évolution et la pérennité des modèles 3D, ces questionnements portent également sur le fond des usages. Dans quelle mesure avons-nous eu besoin d'innovations numériques pour produire et formaliser des connaissances nouvelles, dans quelle mesure n'était-ce qu'un prétexte pour remettre les cercles méridiens au cœur de la recherche patrimoniale⁵⁰ ?
- 75 L'intérêt unanime que nous ont manifesté toutes les institutions en charge des cercles méridiens, ainsi que l'accueil que nous ont manifesté les différentes équipes nous a permis de travailler dans des conditions remarquables. Ne pouvant les citer tous et toutes, sous peine d'être fastidieux, nous nous contenterons de remercier plus spécifiquement ceux et celles qui nous ont permis de rassembler la documentation portant sur le cercle méridien Gautier de l'observatoire de Toulouse-Jolimont, la bibliothèque de l'observatoire de Paris, la DRAC Occitanie, le service régional de l'Inventaire général de la Région Occitanie, la mission PATSTEC de Toulouse, l'observatoire de Midi-Pyrénées et la Société d'astronomie populaire.

BIBLIOGRAPHIE

BAILLAUD, Benjamin. *Notice sur les travaux de scientifiques de M. Baillaud*. Édouard Privat imprimeur : Toulouse, 1907.

BOQUET, Félix. *Les observations méridiennes : Théorie et Pratique*. Octave Doin et fils : Paris, 2 volumes, 1909.

HORREBOW, Peder Nielsen. *Basis astronomiae*. Copenhague, 1735.

LAMY, Jérôme. *Archéologie d'un espace savant - L'observatoire de Toulouse aux 18^e et 19^e siècles : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, Thèse pour le doctorat d'histoire des sciences, sous la direction de M. le directeur d'études Dominique Pestre, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, 2004.

LE GUET-TULLY, Françoise et DAVOIGNEAU, Jean. « L'inventaire et le patrimoine de l'astronomie : l'exemple des cercles méridiens et de leurs abris ». *In Situ* [En ligne], 6 | 2005.

NOTES

1. - L'astrométrie est la branche de l'astronomie qui étudie la position, la distance et le mouvement propre des étoiles et des autres objets célestes.
2. - La colonne monumentale est inaugurée le 24 juillet 1839, le conseil municipal de Toulouse met au concours la construction d'un observatoire astronomique à Jolimont le 9 décembre de la même année. La première pierre ne fut posée qu'en 1841, et des observations ne purent véritablement s'y faire qu'à partir de 1850.
3. - Les astronomes ont quitté Jolimont en 1982 ; depuis cette date la collectivité territoriale du Grand Toulouse entretient le parc devenu jardin public et une association d'astronomes amateurs, la société d'astronomie populaire (SAP), qui a conventionné avec l'observatoire de Midi-Pyrénées, occupe bâtiments et coupoles et organise tous les vendredis soirs visites, conférences et découvertes du ciel.
4. - Le jour sidéral est l'intervalle de temps entre deux passages consécutifs d'une étoile au méridien d'un lieu, soit la période de rotation de la Terre : 23 h 56 mn 4 s. Le jour solaire est l'intervalle de temps entre deux passages consécutifs à un point de l'équateur d'un soleil fictif se déplaçant à vitesse constante tout au long de l'année : 24 h.
5. - Il en deviendra le directeur de 1897 à sa mort.
6. - Le limbe est le bord gradué du cercle ou du secteur circulaire d'un instrument de mesure des angles : astrolabe, sextant, graphomètre, etc.
7. - Røemer fut assistant de Picard à l'observatoire de Paris de 1672 à 1681. Il y fit la première mesure de la vitesse de la lumière en chronométrant les éclipses de Io, un des satellites de Jupiter. C'est suite aux persécutions religieuses qui précédèrent la révocation de l'Édit de Nantes qu'il choisit de retourner à Copenhague. Le mathématicien et physicien hollandais Christiaan Huygens (1629-1695) vivra la même désillusion, attiré à Paris en 1672 par la mise en service de l'observatoire en 1667. Celui qui fut le premier directeur scientifique de l'Académie royale des sciences, et dont les travaux sur le pendule oscillant améliorèrent considérablement la précision des horloges à balancier, quitta Paris en 1681, l'atmosphère politique y étant devenue irrespirable pour un protestant, fut-il protégé par Colbert.
8. - Cet instrument fut décrit par son assistant Peder Nielsen Horrebow (1679-1764) dans son ouvrage *Basis astronomiae*.

9. - Félix Boquet (1852-1929) fit toute sa carrière à l'observatoire de Paris, il entra en 1881 à l'école d'astronomie de l'observatoire, puis commença à y travailler en 1883, après s'être consacré pendant 28 ans au service du cercle méridien, il devint de 1911 à son départ en retraite en 1925 directeur du service de l'heure, service corollaire du précédent.

10. - BOQUET, t. 1, p. 31-32.

11. - Benjamin Baillaud, sorti de l'ENS en 1866 avec l'agrégation de mathématiques, est formé à l'astronomie à l'observatoire de Paris à partir de 1871, il occupe tout d'abord nommé la fonction de délégué à la direction de l'observatoire de Toulouse à partir de l'automne 1878, puis officiellement nommé directeur le 18 mars 1879, il occupera ce poste jusqu'en 1908, date à laquelle il deviendra directeur de l'observatoire de Paris.

12. - Félix Tisserand est nommé aide-astronome à l'observatoire de Paris dès sa sortie de l'ENS en 1866 ; nommé directeur de l'observatoire de Toulouse en 1873, il en quitte la direction à l'automne 1878 pour siéger à l'Académie des Sciences et au Bureau des Longitudes, il est nommé directeur de l'observatoire de Paris en 1892.

13. - Frédéric Petit travaillait à l'observatoire de Paris sous la direction de François Arago lorsqu'il fut nommé directeur de l'observatoire de Toulouse ; il le restera jusqu'à sa mort.

14. - John Bird (1709-1776) constructeur d'instruments de mathématiques construisit de remarquables instruments pour l'observatoire de Greenwich qui lui permirent par la suite d'étendre sa clientèle à l'Europe entière. Jesse Ramsden (1735-1800), opticien et constructeur d'instruments de précision, il inventa une machine à diviser les cercles, qualifiée de plus ancienne machine automatique d'usage industriel.

15. - Ils seront néanmoins conservés précieusement. Le quart de cercle de 2,45 m de rayon a été construit vers 1772-1774, pour un particulier, astronome amateur, qui ne put l'installer et le prêta à Jérôme Lalande (1732-1807) qui l'utilisa à l'observatoire de l'École militaire. L'instrument fut acquis par l'observatoire de Paris en 1786, où il fut utilisé avant d'être envoyé à l'observatoire de Toulouse par Arago. En 1881 il est rapporté à l'observatoire de Paris en vue d'y être exposé ; il s'y trouve toujours. La lunette de Ramsden construite pour l'observatoire de Paris y fut utilisée jusqu'en 1839, avant d'être envoyée comme le quart de cercle à l'observatoire de Toulouse ; elle s'y trouve toujours, exposée sur le mur sud de la salle méridienne. L'Horloge due à l'horloger parisien d'origine neuchâteloise Ferdinand Berthoud (1727-1807) qui leur était associée, et qui désespérait tant Despeyroux en 1871 car elle ne pouvait plus être réparée, a également été conservée ; elle est inscrite au titre des monuments historiques depuis le 17 octobre 2014, et déposée au Musée Dupuy à Toulouse.

16. - Lettre de Théodore Despeyroux à Charles Delaunay, 9 novembre 1871 (archives Observatoire de Paris Ms, 1060 V). Théodore Despeyroux (1815-1883) fut directeur de l'observatoire de Toulouse de 1865 à 1866, il succéda à Frédéric Petit. Charles Delaunay (1816-1872) directeur de l'observatoire de Paris de 1870 à 1872.

17. - BAILLAUD, p. 17.

18. - L'ouverture d'une lunette correspond au diamètre de l'objectif, donc ici une lentille de 23 cm de diamètre.

19. - LAMY, p. 425.

20. - Lettre de Benjamin Baillaud au ministre de l'Instruction Publique, 21 mars 1879. (archives municipales de Toulouse, 2R 135)

21. - Benjamin Baillaud, Journal de l'observatoire, 1887-1895, janvier 1891. (archives municipales de Toulouse, 7Z 66).

22. - Lettre de Benjamin Baillaud au ministre de l'Instruction Publique, 21 mars 1879. (archives municipales de Toulouse, 2R 135).

23. - En 1837, le polytechnicien Henri-Prudence Gambey (1787-1847) construisit pour l'observatoire un cercle mural équipé d'une lunette de 12 cm d'ouverture et de 2 m de distance focale, et une lunette méridienne de 15 cm de d'ouverture et 2,40 m de distance focale.

24. - Cet instrument est toujours en place. En 1884, lorsque savants et diplomates réunis à Washington définirent le méridien de référence international – *the Prime Meridian* – c'est l'axe optique de cet instrument qui fut choisi et dont le méridien de Greenwich n'est que le prolongement.
25. - La puissance d'un cercle méridien tient dans les qualités optiques de sa lunette (sa distance focale et son ouverture, c'est-à-dire le diamètre de sa lentille). Soit 3,66 m de distance focale et 20,5 cm d'ouverture pour la lunette de Greenwich, 3,85 m et 23,6 cm pour celle de Paris.
26. - Raphaël Bischoffsheim est un riche banquier amateur d'astronomie, outre le cercle méridien de Paris en 1877, il financera la construction par Eichens de celui de Lyon en 1879. Ensuite il mettra sa prodigalité dans la réalisation d'un magnifique observatoire à Nice dont les travaux s'échelonnent de 1880 à 1882. Cet établissement fut doté des meilleurs instruments tous commandés à Eichens et réalisés par Paul Gautier, sauf le cercle méridien dû aux frères Brunner.
27. - Par la qualité de son savoir-faire rendu visible par cette série d'instruments, Paul Gautier a acquis une excellente réputation qui lui permettra d'équiper d'un cercle méridien, identique à celui de Toulouse, les observatoires de Rio-de-Janeiro et La Plata en 1890, Athènes en 1899 et Tokyo en 1903.
28. - De 1868 à 1889, l'instrument resta en caisses dans le port de Valparaiso, mis sous séquestre par les autorités chiliennes pendant la guerre dite du Pacifique qui opposa Le Chili au Pérou et à La Bolivie. Le Chili ayant gagné la guerre, conserva la prise de guerre qui fut installée dans le nouvel observatoire de Santiago par un astronome français formé à l'observatoire de Paris, Albert Obrecht.
29. - 10 heures décimales sont équivalentes à 24 heures sexagésimales.
30. - C'est plutôt un revirement car les cercles méridiens de Lima, Paris et Marseille étaient équipés de 6 microscopes de lecture
31. - LAMY, p. 512-513.
32. - Eugène Cosserat succède en 1908 à Benjamin Baillaud à la direction de l'observatoire de Toulouse. Autre différence notable il est ancien élève de l'ENS, alors que Saint-Blancat a un tout autre parcours : son brevet supérieur lui permet de devenir instituteur, il passe ensuite son baccalauréat ès sciences qui lui permet de décrocher un poste d'élève-astronome à Jolimont.
33. - Lettre de Dominique Saint-Blancat à Benjamin Baillaud, 14 mai 1900 (archives municipales de Toulouse 2R 126) citée par LAMY, p. 450.
34. - Lettre de Dominique Saint-Blancat à Benjamin Baillaud, 2 mai 1901 (archives municipales de Toulouse 2R 129) citée par LAMY, p. 454.
35. - Pierre Lacroute (1906-1993) fut directeur de l'observatoire de Strasbourg de 1946 à 1976, formé à l'astrométrie à Toulouse, il avait, à Strasbourg après sa prise de poste comme directeur, relancé les observations méridiennes avec le cercle de Repsold.
36. - Hipparcos pour High Precision PARallax Collecting Satellite.
37. - L'arrêté d'inscription au titre immeuble de l'observatoire de Bordeaux précise que « sont inscrits les bâtiments ainsi que les instruments qu'ils contiennent ». Les éléments d'origine démontés (cercle gradué, microscopes de lecture, ...) lors de la transformation de l'instrument furent conservés et ont été inscrits au titre objets avec d'autres instruments en septembre 2014.
38. - Exception faite pour les observatoires de Nice et Marseille situés tous les deux en Provence-Alpes-Côte d'Azur, mais si les bâtiments exceptionnels de l'observatoire de Nice dus à Charles Garnier furent classés en 1994, aucun instrument ou objet ne l'est. Le château Abbadia et l'observatoire de Bordeaux-Floirac sont également tous les deux situés dans la même région, la Nouvelle-Aquitaine, mais ils relèvent en fait de registres patrimoniaux très différents.
39. - Jean Davoigneau a présenté un bilan de la protection des cercles méridiens aux journées d'études des conservateurs des antiquités et objets d'art de 2019 qui se sont tenues les 26 et 27

septembre à l'Abbaye de Sorèze (Tarn) et dont le thème était « copies, faux et séries : regards sur un patrimoine multiple » dont les actes seront publiés en septembre 2020, aux éditions Actes Sud.

40. - LE GUET-TULLY, Françoise et DAVOIGNEAU, Jean. « L'inventaire et le patrimoine de l'astronomie : l'exemple des cercles méridiens et de leurs abris ». *In Situ* [En ligne], 6 | 2005.

41. - Preuve s'il en est : l'arrêté de protection de l'observatoire de Toulouse d'avril 1987, inscrit comme Monuments historiques : le bâtiment construit par Frédéric Petit, les trois coupes dues à Benjamin Baillaud, la grille et la maison du gardien, mais oublie ou omet de protéger l'abri méridien. Et même si quatre ans plus tard, le cercle méridien est inscrit à son tour comme Monument historique en avril 1991, cela n'y changera rien.

42. - Le projet ReSeed est financé par l'Agence Nationale de Recherche sur la période 2016-2021.

43. - L'industrie 4.0 ou industrie du futur correspond à une nouvelle façon d'organiser les moyens de production. Avec cette 4^e révolution industrielle les frontières du monde virtuel (conception et gestion numérique de la production) et le monde réel (les collaborateurs, les machines et les produits) s'amenuisent.

44. - Le terme LiDAR est l'acronyme de l'expression en langue anglaise « *light detection and ranging* », soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière ». Le LiDAR est une technique de mesure à distance qui fonctionne un peu comme le radar ou le sonar, mais à la différence du radar qui utilise des ondes radio ou du sonar qui utilise des ondes acoustiques, le lidar utilise la lumière – un faisceau laser en général.

45. - Alidade, le site des archives numériques de l'Observatoire de Paris.

46. - La chaîne de blocs est une technologie de stockage et de transmission d'informations sans organe de contrôle central. C'est une base de données distribuée qui gère une liste d'enregistrements protégés par cryptographie contre la falsification ou la modification. La sécurité et la fiabilité des transactions qui en résultent ont séduit les créateurs de cryptomonnaies.

47. - Le prototype est en ligne sur le site web du projet ReSeed.

48. - La réalité augmentée est une technologie qui permet d'intégrer en temps réel des éléments virtuels au sein d'un environnement réel. Le principe est de combiner le virtuel et le réel et de donner l'illusion d'une intégration parfaite à l'utilisateur.

49. - À l'initiative de la SAP, une première présentation devait avoir lieu à l'observatoire de Jolimont fin mai 2020, elle a été reportée à fin 2020. Les observatoires de Bordeaux et de Besançon sont également intéressés.

50. - Nous avons proposé plusieurs communications sur ces nouveaux questionnements lors de différents colloques internationaux qui ont été retenues : *Scientific heritage and Instrumental integrity: Case study of a series of « standard » instruments* (XXXVIII Scientific Instrument Symposium – La Havane, 23-27 septembre 2019), *Using the meridian circles Eichens-Gautier in France for a hundred years: identification of meridian measurement evolutions through the instrumental and practices changes* (Measurement at the Crossroads 2020 : measuring and modelling – Université catholique du Sacré-Cœur – Milan, 29-30 juin et 1^{er} juillet 2020, reporté à 2021), *Dissimilar shelters for similar instruments* (XXXIX Scientific Instrument Symposium – Londres, 14-19 septembre 2020), *Chronometry in French meridian services: Time between Stars and Mechanics* (Astronomical Observatories and Chronometry: Time, Science and Instruments (18th-20th Century) – Musée international d'Horlogerie, La Chaux-de-Fonds (Suisse), 2-4 décembre 2020).

RÉSUMÉS

Au XIX^e siècle, le cercle méridien est l'instrument majeur de l'astrométrie. Il mesure des positions d'étoiles, et contrôle la course des horloges. Une politique ambitieuse en équipe tous les observatoires institutionnels français au seuil du XX^e siècle. La maison Eichens-Gautier produit l'instrument pour tous les observatoires ; celui de Toulouse est installé à l'observatoire de Jolimont en 1891.

Mais le cercle méridien est instrument de mesure tout autant qu'objet mesuré. On adjoint à l'instrument mires et accessoires, qui permettent de connaître les déviations subies au moment de la mesure. Ces quotités mesurées permettent de corriger les résultats de l'instrument, soit par le calcul, soit par sa calibration. L'installation des accessoires se fait progressivement, ceux-ci sont même parfois améliorés, au gré des progrès techniques et scientifiques. L'instrument se comprend donc dans ce contexte, l'environnement technique, rendu indispensable au fonctionnement optimal de l'objet ; l'en sortir rompt l'usage et la compréhension de l'instrument.

Les cercles méridiens deviennent, au fil de leurs modifications, une fausse-série d'instruments uniques. Impossible à rassembler physiquement, sans la décontextualiser, cette série ne témoigne cependant de toutes ses qualités que dans la comparaison entre instruments, traduisant une dynamique invisible à l'examen des seuls individus.

Les possibilités nouvelles apportées par le numérique nous ont permis de modéliser les lunettes et ainsi de mieux comprendre la série. La construction d'un double virtuel de l'objet, par agrégation d'informations et de documentation offre une vision transversale et donne corps à cette série physiquement éclatée.

Meridian circles are the main instrument for astrometry during the 19th century. With it, one can measure positions of stars, as well as clocks functioning. At the verge of the 20th century, an ambitious policy leads to a successive installation of meridian circles in every French institutional observatory, all of them made by the same builder, Eichens-Gautier. In Toulouse such an instrument is installed in 1891 in the observatory of Jolimont.

Meridian circles perform measurements, but also need to be measured. They are fitted with scopes and accessories to measure the deviations affecting the measurements. Such indications could lead to post-processing corrections, or to the instrument calibration. The accessories are added gradually, and updated, according to technical and scientific progress. To understand the instrument, context is needed and the technical environment plays a key role in the proper functioning of the object. Looking at the telescope only, without its accessories, means ignoring vital components of its use, and eventually misunderstandings.

With these incremental modifications, the meridian circles form a false-series of unique objects. The instrument's need for context make their physical gathering impossible. Yet, the dynamics of the series, invisible through the life of an individual instrument, can only reveal itself through instruments comparisons.

By the use of digital technologies, we were able to model the telescopes in their environment and to better understand the series. Digital twins, virtual models of the objects, built through aggregation of information and documents offer transverse vision, and embody this physically spread series.

INDEX

Mots-clés : observatoire astronomique, mesures méridiennes, cercle méridien, instrument scientifique, astrométrie, chronométrie, carte du ciel, Paul Gautier, Wilhlem Eichens, Urbain Leverrier, Benjamin Baillaud, Félix Tisserand, Dominique Saint Blancat, Toulouse, Inventaire général, Monument historique, numérisation 3D, modèle 3D, documentation numérique, base de données, double numérique, Omeka S, nuages de points, visualisation, réalité augmentée

Keywords : astronomical observatory, meridian measure, meridian circle, scientific instrument, chronometry, Map of the Sky, Paul Gautier, Wilhelm Eichens, Urbain Leverrier, Benjamin Baillaud, Félix Tisserand, Dominique Saint Blancat, Toulouse, national inventories, listed building, 3D scanning, 3D model, digital documentation, database, digital twin, Omeka S, pointclouds, visualisation, augmented reality

AUTEURS

AMANDINE BÉRARD

Étudiante en Master valorisation des nouveaux patrimoines, UFR Histoire, Histoire de l'art et Archéologie, Centre François Viète d'Histoire des Sciences et des Techniques (EA 1161), Université de Nantes

JEAN DAVOIGNEAU

Chargé d'études documentaires principal, chargé du patrimoine scientifique, Mission Inventaire général du patrimoine culturel, ministère de la Culture

LOÏC JEANSON

Étudiant en Doctorat d'ingénierie mécanique et d'histoire des sciences et technologies, Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), École Centrale de Nantes, Centre François Viète d'Histoire des Sciences et des Techniques (EA 1161) - Université de Nantes

FLORENT LAROCHE

Enseignant-chercheur, Maître de conférences HDR, coordinateur du projet ANR ReSeed, Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), École Centrale de Nantes