

références | astronomiques

la Carte du Ciel

Jérôme Lamy



 l'Observatoire
de Paris


EDP
SCIENCES

La Carte du Ciel

références | astronomiques

La Carte du Ciel

Histoire et actualité d'un projet scientifique international

Sous la direction de
Jérôme Lamy

Préface de **Daniel Egret**



17, avenue du Hoggar
Parc d'activité de Courtaboeuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

Couverture, maquette intérieure : Thierry Gourdin

Mise en page : Exegraph

Imprimé en France

ISBN EDP Sciences : 978-2-7598-0057-5

ISBN Observatoire de Paris : 978-2-901057-60-4

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2008

Sommaire

PRÉFACE	7
REMERCIEMENTS	11
INTRODUCTION	13
1- LA CARTE DU CIEL : GENÈSE, DÉROULEMENT ET ISSUES	19
Ileana CHINNICI	
2- LA CARTE DU CIEL ET L'AJUSTEMENT DES PRATIQUES (FIN XIX ^e - DÉBUT XX ^e SIÈCLE)	45
Jérôme LAMY	
3- L'OPÉRATION DE LA CARTE DU CIEL DANS LES CONTEXTES INSTITUTIONNEL ET TECHNIQUE DE L'ASTRONOMIE FRANÇAISE À LA FIN DU XIX ^e SIÈCLE	69
Françoise LE GUET TULLY	
Jérôme DE LA NOË	
Hamid SADSAOUD	
4- LA PHASE CRITIQUE DE LA CARTE DU CIEL À PARIS, 1920-1940	109
Arnaud Saint-Martin	
5- LA CARTE DU CIEL VUE DE POTSDAM	129
Charlotte BIGG	
6- LA DÉTECTION DE LA MATIÈRE INTERSTELLAIRE SUR LES PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES DE LA CARTE DU CIEL	155
Alain FRESNEAU	
7- MESURE DES MAGNITUDES STELLAIRES SUR LES PLAQUES DE LA CARTE DU CIEL	169
Emmanuel DAVOUST	

8-	(CENT ANS APRÈS...) HIPPARCOS, UNE TROISIÈME DIMENSION POUR LA CARTE DU CIEL.....	177
	Frédéric ARENOU Catherine TURON	
9-	LES TRACES MATÉRIELLES DE LA CARTE DU CIEL : LE CAS DES OBSERVATOIRES D'ALGER ET DE BORDEAUX	213
	Françoise LE GUET TULLY Jean DAVOIGNEAU Jérôme LAMY Jérôme DE LA NOË Jean-Michel ROUSSEAU Hamid SADSABOUD	
	CONCLUSION	237
	BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE	245
	INDEX NOMINUM	247

Préface

Cartographier le ciel de façon complète, en enregistrant les positions de tous les astres détectables avec les meilleurs instruments d'observation disponibles : on comprend que cette ambition ait fasciné les savants, au cours des siècles, les défis à relever gagnant en complexité au fur et à mesure des avancées des technologies d'observation.

Lorsque le contre-amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire de Paris, organise en 1887 le projet international de la Carte du Ciel, c'est l'irruption de la photographie astronomique qui fournit le nouveau support adapté à cette ambition. C'est ce développement technologique qui va rendre possible cette entreprise – l'une des toutes premières collaborations scientifiques à l'échelle mondiale – à laquelle plusieurs dizaines de femmes et d'hommes vont consacrer la totalité de leur activité professionnelle.

On s'est souvent interrogé sur l'utilité des fruits de cette entreprise majeure de l'astronomie mondiale, lancée à une époque charnière où une nouvelle branche de la science, l'astronomie physique (on dit maintenant l'astrophysique) prenait un essor décisif. À cette interrogation légitime, sont données des réponses tout au long des chapitres qui décrivent les hauts et les bas d'une aventure humaine et scientifique hors du commun.

Il se trouve que, pour ma part, jeune assistant astronome à Strasbourg en 1973, j'ai eu la chance d'être témoin de l'un des derniers épisodes de cette

aventure, lorsque Pierre Lacroute, à l'observatoire de Strasbourg, achevait de mettre au point les catalogues astrographiques issus de la Carte du Ciel. À cette époque, comme le rappellent Frédéric Arenou et Catherine Turon, le même Pierre Lacroute, avec d'autres astrométristes européens parmi lesquels se trouvaient Erik Hoeg et Jean Kovalewski, posait les premiers jalons de ce qui deviendra le projet *Hipparcos* : cette fructueuse mission d'astrométrie spatiale (1989-1993) de l'Agence Spatiale Européenne aura permis de cartographier avec une très haute précision les positions de 120 000 étoiles. Cette astrométrie de précision donne alors accès, pour ces astres, à une donnée fondamentale : leur parallaxe, et donc leur distance. On lira, dans ce volume, comment le projet *Tycho*, utilisant les repéreurs d'étoiles du même satellite, utilisera le *Catalogue Astrographique* de la Carte du Ciel pour dériver une cartographie de précision inégalée pour plus de deux millions d'étoiles.

Il est intéressant de noter que c'est aussi au début des années 1970 que le Professeur Lacroute, sur la proposition visionnaire de Jean Delhaye, installait à Strasbourg le Centre de Données (CDS) qui deviendra, trente ans plus tard, l'un des nœuds centraux de l'Observatoire Virtuel.

L'enjeu pour le CDS, en cette fin du xx^e siècle, fut de construire les concepts et les outils qui fourniraient la maîtrise de la collection, de la manipulation, et de l'identification croisée d'une très grande diversité de catalogues d'observation. Il me plaît de voir certains points de correspondance entre l'entreprise de la Carte du Ciel et l'organisation internationale de l'Observatoire Virtuel qui mobilise actuellement des dizaines d'institutions pour fournir à l'ensemble de la communauté scientifique de nouvelles capacités d'exploration de l'Univers dans toutes ses dimensions.

Au moment où paraît cet ouvrage, l'astrométrie est de nouveau au cœur des préoccupations des astronomes contemporains, avec le projet Gaia, mission pierre angulaire du programme Horizon 2000+ de l'Agence Spatiale Européenne dont le lancement est prévu en 2011. L'avance manifeste de la communauté scientifique européenne dans ce domaine n'est-elle pas un héritage à mettre au crédit de la Carte du Ciel ?

Il est un autre élément frappant dans cette renaissance de la cartographie céleste, ce sont les nouvelles dimensions de l'astrométrie : c'est d'abord la mesure massive de parallaxes qui fournit une nouvelle compréhension de la

distance des étoiles ; mais ce sont aussi de nouvelles dimensions spectrales, par la multiplication des grands relevés en différentes couleurs et longueurs d'onde. Et en effet, les relevés systématiques et l'observation de champs profonds du ciel sont devenus des instruments clefs de réponse aux grands problèmes de l'astrophysique contemporaine : de la détection des planètes extrasolaires à la compréhension des grandes structures cosmologiques. Et les développements technologiques permettent d'ajouter une autre dimension essentielle, celle du temps, en multipliant d'année en année, voire de nuit en nuit, les visions d'une même partie du ciel pour en détecter les plus infimes variations. Ce dernier aspect est au cœur du très ambitieux projet du Large Synoptic Survey Telescope américain qui prévoit, dès 2013, de cartographier chaque nuit une grande partie du ciel visible.

Le rêve des poètes de dénombrer les étoiles n'a décidément pas fini de s'incarner à travers de nouveaux défis technologiques.

Daniel Egret
Président de l'Observatoire de Paris
30 octobre 2007

Remerciements

Je remercie Dominique Pestre (EHESS, Centre Alexandre Koyré) et David Aubin (Université Paris VI), responsable du projet ANR « *De Humboldt à Gaia : Histoire des sciences du système-Terre* », pour le soutien financier qu'ils ont apporté à la Journée d'étude précédant l'édition de cet ouvrage. Je leur suis très reconnaissant d'avoir accepté de présider les différentes sessions de cette rencontre qui s'est tenue au Centre Alexandre Koyré, le 5 octobre 2006.

Laurence Bobis, directrice de la Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, et James Lequeux, m'ont prodigué de nombreux conseils dans l'achèvement de ce livre. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance.

Je remercie Daniel Egret, Président de l'Observatoire de Paris, qui a bien voulu rédiger la préface de l'ouvrage.

LA CARTE DU CIEL, L'INVENTAIRE INACHEVÉ

Jérôme LAMY

LISST – UMR CNRS 5193 – Université Toulouse II

La Carte du Ciel est un objet d'étude aussi complexe que passionnant. Lancée en 1887 par Ernest Mouchez, alors directeur de l'Observatoire de Paris, elle ne sera jamais totalement achevée et s'interrompt officiellement en 1970. L'objectif affiché par ses promoteurs à la fin du ^{xix}^e siècle est à la fois simple et ambitieux : il s'agit « *constater l'état général du ciel à l'époque [et] d'obtenir des données qui permettront de déterminer les positions et les grandeurs de toutes les étoiles jusqu'à un ordre donné de grandeur* ». Ce programme astrométrique s'inscrit dans la longue histoire des inventaires célestes, scandée notamment par les travaux d'Hipparque, de Tycho Brahé et Jérôme Lalande.

L'originalité de la Carte du Ciel réside dans le moyen employé pour repérer les astres. Mouchez propose en effet de recourir à la photographie, technique émergente dans les pratiques savantes de la fin du ^{xix}^e siècle.

L'entreprise de la Carte du Ciel se distingue encore, au moment de son lancement, par la logique de recherche inédite qu'elle met en jeu. Ce sont en effet dix-huit observatoires répartis sur l'ensemble du globe qui participent à l'inventaire photographique du ciel. La France joue certes un rôle moteur dans la Carte du Ciel, mais elle doit s'intégrer dans une géopolitique de la science qui tient compte des susceptibilités nationales et de leur nécessaire dépassement.

Cette dimension mondiale de la recherche scientifique contraint les astronomes impliqués à inventer des formes d'organisation et de travail. La standardisation des pratiques et du matériel, l'indispensable coordination des actes, et la fluidité dans la circulation des informations dessinent, à la fin du XIX^e siècle, une nouvelle manière de faire de la science.

La durée dans laquelle s'inscrit la Carte du Ciel constitue également une particularité notable. Ce programme scientifique s'étend sur près de cent ans et il a mobilisé, au moins jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, un personnel nombreux. De fait, il entre en concurrence, pour les moyens et les grandes orientations scientifiques, avec d'autres secteurs de la recherche astronomique, notamment l'astrophysique. Ce développement de la Carte du Ciel dans une temporalité longue autorise bien sûr les expérimentations et les tâtonnements, mais c'est aussi l'enlisement qui menace, la dispersion qui guette.

Enfin, et c'est l'un des traits les plus singuliers, la Carte du Ciel connaît, après son arrêt en 1970, des prolongements divers, directs et indirects. L'astrométrie n'est certes plus au cœur des questionnements astronomiques récents, mais elle reste présente, malgré tout, dans les programmes spatiaux d'Hipparcos et de Gaia. D'autres travaux exploitent la masse d'informations collectées pour la Carte du Ciel en les intégrant à des problématiques plus actuelles sur la structure de l'Univers.

Restituer la singularité et la complexité de la Carte du Ciel nécessite des compétences multiples. La journée d'étude organisée au Centre Alexandre Koyré, avec le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche, le 5 octobre 2006 a réuni des historiens et des astronomes qui se sont efforcés de croiser les points de vue, de varier les éclairages, de diversifier les angles d'analyse, afin de comprendre les origines, le déploiement, l'interruption et les usages ultérieurs de la cartographie céleste imaginée par Ernest Mouchez. Le présent volume rassemble, pour l'essentiel, les communications prononcées lors de cette rencontre. Il est possible de discerner deux grandes parties :

Les aspects historiques de la Carte du Ciel

Ileana Chinnici propose une vue panoramique de la Carte du Ciel en détaillant sa genèse, son déroulement et son issue. Elle insiste sur les objectifs scientifiques initiaux et leur évolution au cours du temps. Les aspects politiques

de l'entreprise sont également analysés ; ils permettent de souligner les enjeux nationaux et internationaux qui sous-tendent le projet.

Jérôme Lamy s'intéresse aux modes d'organisation et de coordination qui caractérisent la Carte du Ciel. La standardisation des instruments et la normalisation des pratiques s'opèrent sur un mode directif. Les instances dirigeantes de la Carte du Ciel élaborent des règles très contraignantes pour uniformiser les opérations. Les astronomes doivent donc ajuster les normes édictées à leur expérience d'observateurs. Les débats qui agitent les conférences internationales de la Carte du Ciel réunies à Paris en 1887, 1889 et 1891, permettent d'apaiser les tensions entre prescriptions et pratiques individuelles. De plus, le *Bulletin du Comité international permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel*, véritable forum informel, offre un espace inédit de discussion sur les aménagements à envisager.

Françoise Le Guet Tully, Hamid Sadsaoud et Jérôme de La Noë analysent le contexte institutionnel français dans lequel naît la Carte du Ciel. Dans les années 1880, le régime républicain réorganise totalement la recherche astronomique. À Paris, l'instrumentation est totalement renouvelée sous l'impulsion de Maurice Lœwy. En province, les efforts de décentralisation permettent un accroissement significatif des arsenaux techniques de Marseille et Toulouse, ainsi que l'édification des établissements de Besançon, Lyon et Bordeaux. À Alger, la station astronomique créée sous le second Empire est transformée en un observatoire particulièrement dynamique grâce à l'implication de Charles Trépied. Ce panorama des établissements astronomiques permet de cerner les enjeux institutionnels et scientifiques qui concourent à l'engagement des observatoires de Paris, Bordeaux, Toulouse et Alger dans l'entreprise de la Carte du Ciel.

Arnaud Saint-Martin revient sur la « phase critique » de la Carte du Ciel à Paris, entre 1920 et 1940. Il examine en détail la crise que traverse l'astronomie française et l'Observatoire de Paris dans l'entre-deux guerres. La productivité de l'établissement parisien est jugée insuffisante et les conditions climatiques difficiles l'empêchent de développer une activité soutenue. Une délocalisation, loin de la ville, est envisagée. Dans ce contexte délicat, la légitimité de la Carte du Ciel est explicitement remise en cause. En 1930, Henri Mineur se voit confié par Benjamin Baillaud, directeur de l'Observatoire de Paris, un programme de développement de la Carte du Ciel. Il suggère la création d'un laboratoire de statistique stellaire permettant notamment d'inventorier les amas stellaires. Mineur n'est pas soutenu dans son projet et rejoint, en 1933, le service d'astrophysique.

Finalement les décisions de l'Union Astronomique Internationale et les financements du CNR prolongent, dans les années 1930, les activités de la Carte du Ciel.

Charlotte Bigg s'attache à retracer les aléas de la Carte du Ciel depuis l'observatoire de Potsdam. Le cas de cet établissement sert de point de comparaison avec les observatoires français, en particulier en ce qui concerne l'organisation du travail au sein de l'observatoire et le problème de la répartition des ressources humaines et instrumentales dans la poursuite de ce projet de longue haleine. On remarque notamment que si les astronomes allemands, héritiers d'une tradition d'excellence en astrométrie stellaire, se devaient de prendre part à la « Photographische Himmelskarte », ce ne sont pas les observatoires d'astronomie classique mais le nouvel observatoire d'astrophysique de Potsdam qui entreprendra cette tâche. Les études effectuées dans ce cadre sur la photographie stellaire et surtout la photométrie photographique seront ainsi considérées comme des contributions à la jeune science astrophysique – du moins jusqu'à ce que la Carte du Ciel entre en concurrence dans l'observatoire avec les projets de catalogues de spectres stellaires et de mesure des vitesses radiales.

Les usages successifs de la Carte du Ciel depuis les années 1970

Emmanuel Davoust détaille la mesure des magnitudes stellaires sur les plaques de la Carte du Ciel. Il expose la méthode qu'il a mis au point pour déterminer les magnitudes apparentes des étoiles des plaques de la Carte du Ciel. La plaque photographique est d'abord numérisée par un scanner du commerce, avec une résolution de 2400 dpi. Le fichier obtenu est analysé par le logiciel SExtractor, couramment utilisé pour créer des catalogues d'objets dans des images CCD grand champ. En parallèle, un catalogue des étoiles de magnitude connue dans la zone est créé, qui sert d'abord à calibrer le système de coordonnées de la plaque. Les objets détectés par SExtractor dont les coordonnées correspondent à celles d'étoiles connues servent ensuite à établir la relation entre les densités photographiques mesurées et les magnitudes stellaires bleues. En tenant compte d'un effet lié à la distance des étoiles au centre de la plaque, il est possible de déterminer des magnitudes apparentes avec une précision d'environ un tiers de magnitude. L'objectif d'Emmanuel Davoust est de rechercher des étoiles variables sur les dix mille plaques de la Carte du Ciel de la zone de Toulouse.

Alain Fresneau évoque les modes de détection de la matière interstellaire sur les plaques photographiques de la Carte du Ciel. Les premiers clichés de

la Carte du Ciel en 1887 ont fait remarquer la présence de la matière interstellaire. Ce n'est que vers 1930 que les astronomes ont essayé d'utiliser l'héritage de la Carte du Ciel pour détecter d'éventuels bras spiraux de notre Galaxie. Grâce à des machines de mesure rapides construites dans les années 1970 pour mesurer des plaques photographiques de télescope de Schmidt, et grâce à des clichés de la Carte du Ciel de l'Observatoire de Paris, la matière interstellaire dans la région de l'Aigle a pu être détectée, et grâce à des clichés Carte du Ciel de l'observatoire de Sydney, le bras spiral du Sagittaire a pu être détecté.

Frédéric Arenou et **Catherine Turon** s'intéressent au projet Hipparcos comme troisième dimension de la Carte du Ciel. Ils remarquent que lorsque les travaux de la Carte du Ciel débutent, quelques parallaxes annuelles d'étoiles sont connues. En complément du Catalogue qu'apporte la Carte du Ciel, la quête pour la troisième dimension rappelle l'enjeu considérable qu'a toujours été la mesure de l'univers visible. Frédéric Arenou et Catherine Turon mentionnent l'évolution de cette connaissance, en insistant sur les progrès récents, avec Hipparcos/Tycho, et à venir, avec Gaia. Dans les deux cas, il s'agit non seulement d'une revanche de l'astrométrie comme outil essentiel à l'astrophysique, mais de plus, avec Tycho-2, c'est un pont de près d'un siècle construit avec la Carte du Ciel.

Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, Jérôme Lamy, Jérôme de La Noë, Jean-Michel Rousseau et **Hamid Sadsaoud** évoquent les traces matérielles de la Carte du Ciel subsistant dans les observatoires d'Alger et de Bordeaux. Ils examinent d'abord l'opération d'inventaire du patrimoine astronomique entreprise à partir du milieu des années 1990. Ils examinent ensuite les éléments concrets constituant aujourd'hui le patrimoine de la Carte du Ciel : lunettes, abris, accessoires, laboratoires, réseaux, plaques de verre, registres, machines à mesurer les clichés, et cartes.

La réunion de ces textes vise à éclairer, dans ses dimensions scientifiques, techniques, sociales et politiques, un programme de recherche ample et ambitieux, initié à la fin du XIX^e siècle et dont l'empreinte subsiste tout au long du XX^e siècle. Nous espérons ainsi intéresser un lectorat désireux de comprendre les logiques historiques et scientifiques de la Carte du Ciel. Cet ouvrage se veut aussi un outil de réflexion sur les projets scientifiques à long terme dont la fécondité ne peut être évaluée sur des critères d'immédiate rentabilité.

LA CARTE DU CIEL : GENÈSE, DÉROULEMENT ET ISSUES

Ileana CHINNICI

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo Giuseppe S. Vaiana

Introduction

Le sujet des catalogues stellaires est très actuel du fait que plusieurs missions spatiales ont été consacrées pour une large part à l'astrométrie, notamment le satellite Hipparcos, lancé en 1989, et dans le futur, le projet Gaia.

Dans ce domaine, l'astrométrie spatiale a pu s'appuyer sur les données fournies par le Catalogue le plus complet jusque-là rédigé, c'est-à-dire le Catalogue Astrographique, issu de l'entreprise internationale de la Carte du Ciel. Toutes les coordonnées du Catalogue ont été digitalisées à l'U. S. Naval Observatory (USNO). Les CD-ROM AC2000, ACRS (combiné avec les observations de la mission Hipparcos) et ACT (combiné avec les observations de la mission supplémentaire d'Hipparcos, Tycho), sont parus en 1997 et ont été utilisés pour l'étude des mouvements propres des étoiles.

Cet intérêt d'aujourd'hui pour le Catalogue Astrographique oblige à réfléchir attentivement sur le jugement historique concernant la Carte du Ciel et à examiner les différents points de vue qui rendent son analyse très complexe.

Chronologie de l'entreprise

L'idée de la Carte du Ciel se développe à la suite des succès obtenus par l'application des techniques photographiques à l'astronomie ; les pionniers dans ce domaine furent Warren de la Rue (1815-1889) en Grande-Bretagne, Edward C. Pickering (1846-1919) aux États-Unis et David Gill (1843-1914) au Cap de Bonne-Espérance (Fig. 1.1).

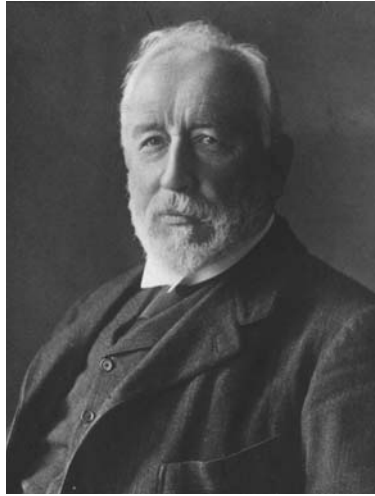


Figure 1.1. David Gill, directeur de l'observatoire du Cap de Bonne-Espérance, dont le rôle a été déterminant dans la mise en route du projet.

Ce dernier entretient une correspondance nourrie avec le contre-amiral Ernest B. Mouchez (1821-1892), directeur de l'Observatoire de Paris (Fig. 1.2), et lui exprime, en 1885, son intention d'obtenir une Carte photographique du Ciel austral, accompagnée par un Catalogue (Fig. 1.3) :

« I propose to make a complete and uniform series of Photographic Maps of the Southern Heavens, making also a Catalogue of approximate places and magnitudes from these maps »^[1].

Mouchez, ayant créé dès 1879 à l'Observatoire de Paris un atelier photographique confié aux opticiens les frères Paul (1848-1905) et Prosper (1849-1903) Henry (Fig. 1.4 et 1.5), qui avaient obtenu en 1884 des photographies reproduisant les étoiles jusqu'à la 14^e grandeur, conçoit l'idée de la réalisation d'une carte photographique complète du ciel et devient promoteur du projet.



Figure 1.2. Contre-amiral Mouchez.

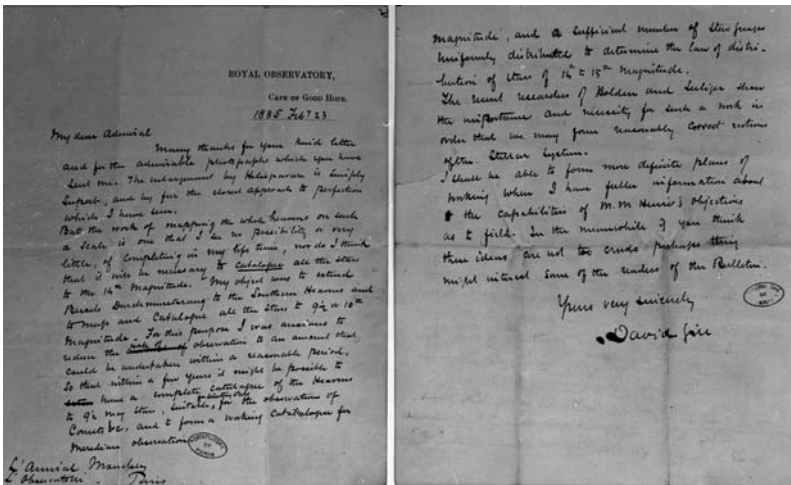


Figure 1.3. Lettre de D. Gill, Royal Observatory Cape of Good Hope, 23 février 1885.



Figure 1.4. Paul Henry.



Figure 1.5. Prosper Henry.

C'est lui qui, en 1885, écrit à Pickering, directeur de l'Observatoire de Harvard College, à William Huggins^[2] (1824-1910) en Angleterre, à Luiz Cruls (1848-1908), directeur de l'Observatoire de Rio de Janeiro et à Otto W. Struve^[3] (1819-1905), directeur de l'Observatoire de Poulkovo, une lettre (Fig. 1.6) proposant une coopération internationale finalisée en vue de la création d'une carte photographique du ciel :

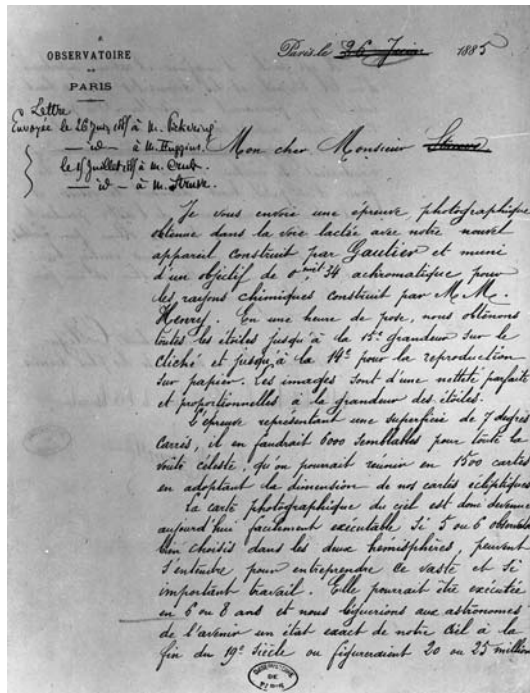


Figure 1.6. Lettre de E. Mouchez à Pickering, Huggins, Crubb, Struve du 26 juin 1885.

« (...) je vous envoie une épreuve photographique obtenue dans la Voie Lactée avec notre nouvel appareil construit par Gautier et muni d'un objectif de 0,34 m achromatique pour les rayons chimiques construit par MM. Henry. En une heure de pose, nous obtenons toutes les étoiles jusqu'à la 15^e grandeur sur le cliché et jusqu'à la 14^e pour la reproduction sur papier. Les images sont d'une netteté parfaite et proportionnelles à la grandeur des étoiles. L'épreuve représentant une superficie de 7 degrés carrés, il en faudrait 6 000 semblables pour toute la voûte céleste (...). La carte photographique du ciel est donc devenue aujourd'hui facilement exécutable si 5 ou 6 observatoires bien choisis dans les deux hémisphères peuvent s'entendre pour entreprendre ce vaste et si important travail. Elle pourrait être exécutée en 6 ou 8 ans et nous léguerions aux astronomes de l'avenir un état exact de notre ciel à la fin du 19^e siècle ou figureraient 20 ou 25 millions d'étoiles ».^[4]

Une fois des réponses favorables reçues, Mouchez organise en 1887, à l’Observatoire de Paris, sur invitation de l’Académie des Sciences, un congrès international pour discuter de l’exécution du projet (Fig. 1.7 et Tab. 1.1).



Figure 1.7. Congrès astrophotographique international tenu en avril 1887 à l’Observatoire de Paris.

Tableau 1.1. Les membres du Congrès astrophotographique international de 1887.

Membres étrangers	
A. Auwers	Académie des Sciences de Berlin
H.G. Van de Sande Bakhuyzen	Directeur de l’Observatoire de Leyde
F. Beuf	Directeur de l’Observatoire de La Plata
W. Christie	Astronome Royal, Observatoire de Greenwich
A-A Common	Royal Astronomical Society
L. Cruls	Directeur de l’Observatoire de Rio de Janeiro
A. Donner	Directeur de l’Observatoire d’Helsingfors
N.C. Dunér	Observatoire de Lund
J.M Eder	École Polytechnique, Vienne
F. Folie	Directeur de l’Observatoire de Bruxelles
E. Gautier	Directeur de l’Observatoire de Genève
D. Gill	Directeur de l’Observatoire du Cap de Bonne-Espérance
H. Gyldén	Directeur de l’Observatoire de Stockholm
B. Hasselberg	Observatoire de Pulkovo
J.C. Kapteyn	Université de Groningue

LA CARTE DU CIEL

E.B. Knobel	Royal Astronomical Society
A. Krueger	Directeur de l'Observatoire de Kiel
O. Lohse	Observatoire de Potsdam
Oom	Directeur de l'Observatoire de Lisbonne
J.A.C. Oudemans	Directeur de l'Observatoire d'Utrecht
C.F. Pechüle	Observatoire de Copenhague
P. Perry	Directeur du Stonyhurst-College Observatory
C.H.F. Peters	Directeur du Hamilton College Observatory, Clinton
Pujazon	Directeur de l'Observatoire de San Fernando
I. Roberts	Maghull (près de Liverpool)
H.C. Russell	Directeur de l'Observatoire de Sydney
E. Schönfeld	Directeur de l'Observatoire de Bonn
A. Steinheil	Fabricant d'instruments, Allemagne
O. Struve	Directeur de l'Observatoire de Pulkovo
P. Tacchini	Directeur du Collège Romain
Tennant	Royal Astronomical Society
T.N. Thiele	Directeur de l'Observatoire de Copenhague
H.C. Vogel	Directeur de l'Observatoire de Potsdam
E. Weiss	Directeur de l'Observatoire de Vienne
A.G. Winterhalter	Observatoire de Washington
Membres français	
J. Bertrand	Académie des Sciences
A. Bouquet de la Grye	Académie des Sciences
A. Cornu	Académie des Sciences
H. Faye	Académie des Sciences
H. Fizeau	Académie des Sciences
J. Janssen	Académie des Sciences
M. Lœwy	Académie des Sciences
E. Mouchez	Académie des Sciences
F. Perrier	Académie des Sciences
F. Tisserand	Académie des Sciences
C. Wolf	Académie des Sciences
B. Baillaud	Directeur de l'Observatoire de Toulouse
G. Rayet	Directeur de l'Observatoire de Bordeaux
C. Trépied	Directeur de l'Observatoire d'Alger
Paul Henry	Observatoire de Paris
Prosper Henry	Observatoire de Paris
P. Gautier	Fabricant d'instruments, Paris
Cloué	Bureau des Longitudes
Laussedat	Conservatoire des Arts et Métiers, Paris
L. Liard	Représentant du Ministère de l'Instruction Publique

Bulletin astronomique, SÉRIE 1, VOL. 4, 1887, P. 129.

La Carte photographique du Ciel est immédiatement perçue comme une entreprise d'une envergure mondiale et d'une importance scientifique capitale :

« (...) sera inoubliable dans l'histoire de l'Astronomie l'œuvre grandiose que nous voulons léguer aux générations futures, œuvre qu'on pourra définir comme l'Inventaire exact et aussi complet que possible de l'univers perceptible à la fin du XIX^e siècle ». ^[5]

On décide l'institution d'une Commission Internationale Permanente, composée de 11 membres plus les Directeurs des autres Observatoires participants, et d'un Comité exécutif de 9 membres. ^[6]

La Commission se réunira encore dans les années 1889, 1891, 1896, 1900, 1909 ; la mise en œuvre est très ralentie ; plusieurs observatoires abandonnent l'entreprise. La Première Guerre mondiale constitue une rupture. À la suite de la création de l'Union Astronomique Internationale (UAI), en 1919, la Commission 23 est instituée et chargée de mener l'œuvre à son terme.

L'action de soutien de l'UAI est décisive : malgré une deuxième interruption due à la Seconde Guerre mondiale, la publication des derniers vingt volumes du Catalogue, entièrement financée par l'UAI, sera achevée ; le dernier volume du Catalogue ne sera publié qu'en 1964. En revanche, la Carte restera inachevée : lors de l'Assemblée générale de l'UAI de Brighton, en 1970, son accomplissement sera reconnu désormais hors de propos ^[7] ; la Commission 23 sera donc réunie à la Commission 24 (Parallaxes stellaires et mouvements propres) et la nouvelle Commission 24 sera nommée « *Astrométrie photographique* ». La chronologie de l'exécution du projet Carte du Ciel se termine donc ici ^[8].

Aspects scientifiques

Le projet de 1887 avait pour but principal d'obtenir une carte photographique complète du ciel ^[9], reproduisant les étoiles jusqu'à la 14^e grandeur ^[10] sur des plaques correspondant à une région carrée du ciel d'environ 2° de côté ; la partie utile de la plaque devait être d'environ 1° de côté et ne devait pas présenter de distorsions optiques.

Chaque observatoire devait produire une double série de plaques, centrées respectivement sur les déclinaisons paires et impaires, de telle façon que

chaque étoile soit photographiée deux fois pour la distinguer de défauts éventuels de la plaque^[11] ; le raccordement des plaques devait se faire avec le coin d'une plaque d'une série coïncidant le plus possible avec le centre d'une plaque de l'autre série^[12].

Les astronomes prenaient aussi des clichés supplémentaires à plus courte durée de pose pour construire un Catalogue d'étoiles jusqu'à la 11^e grandeur^[13] ; avant la pose, ils photographiaient un réseau sur le cliché pour faciliter la mesure des coordonnées et pour contrôler qu'il n'y ait pas de déformation dans la couche supérieure de la plaque dans l'avenir^[14].

Les instruments utilisés devaient être des réfracteurs^[15] ayant les mêmes données techniques que l'équatorial Henry-Gautier^[16] (Fig. 1.8), « identiques dans leurs parties essentielles »^[17].

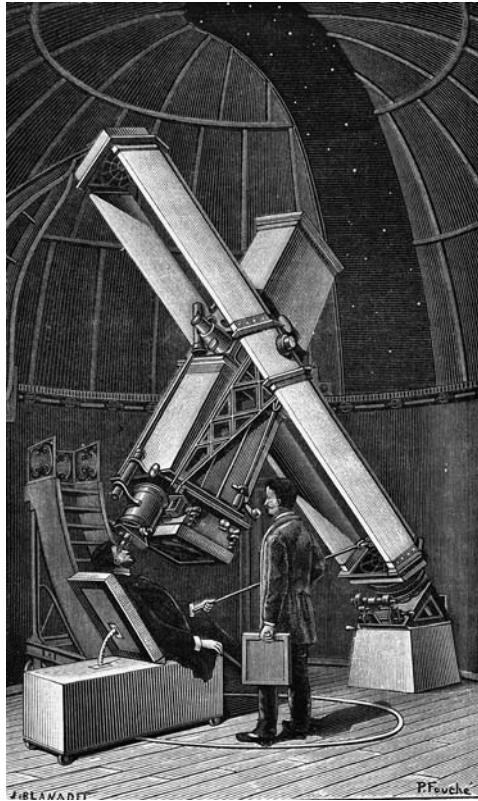


Figure 1.8. Appareil de MM. Henry pour la photographie stellaire [dit équatorial de la Carte du Ciel] à l'Observatoire de Paris.

Le projet était scientifiquement sensé : jusque-là, le catalogue le plus étendu, pour le ciel boréal, était la *Bonner Durchmusterung*, issue du catalogue de Friedrich Argelander (1799-1875) publié en 1863 et accompagnée de 65 cartes célestes. Ce catalogue, révisé par l'*Astronomische Gesellschaft* à partir de 1876, contenait environ 320 000 étoiles jusqu'à la 9^e grandeur. Pour le ciel austral, les catalogues principaux étaient l'*Uranometria Argentina* de Benjamin A. Gould (1824-1896), accompagnée de 14 cartes célestes, publiée en 1879, qui contenait environ 50 000 étoiles de déclinaison -23° à -90° jusqu'à la 7^e grandeur, et la *Südliche Durchmusterung* d'Edouard Schönfeld (1828-1891), de 1886, renfermant un peu plus de 120 000 étoiles de déclinaison -1° à -23° , ce qui était bien peu par rapport au ciel boréal. La Carte photographique du Ciel permettait donc d'améliorer notablement la qualité des observations et la quantité des données recueillies.

À la réunion de 1889, forme et dimensions des plaques sont fixées : elles seront carrées, ayant 16 cm de côté^[18]. On laisse la liberté de commander les plaques à plusieurs fabricants, à condition qu'elles soient examinées par la Commission^[19]. Il est également décidé de faire l'impression du réseau sur les clichés de la Carte, identique à celui du Catalogue^[20] ; la série des clichés du Catalogue sera à deux poses^[21]. Enfin, le Comité propose d'instituer un Bureau des Mesures pour centraliser le travail^[22].

Gill pousse le Comité pour que la priorité soit donnée au Catalogue qui était, à son avis, le but principal de l'entreprise, plus que la Carte :

« *I think you will find that the point capital will become not la carte photographique du ciel – in the sense of so many photographic plates of the sky – that will become effete long before the work is finished (...). It is the Catalogue, the organization for its execution, computation and publication which must cause the Astrophotographic Congress of Paris to be an Epoch in the History of Astronomy. That must be kept in view if the Committee desires to fulfill its functions in the most complete manner* »^[23].

La position de Gill est fortement critiquée et lui vaut une attaque très violente de la part des astronomes britanniques Andrew A. Common (1841-1903) et Herbert T. Turner (1861-1930), éditeurs du journal *The Observatory* :

« *We consider that the scope of the work has been illegally magnified, and a catalogue illegally substituted for a chart ; and the meaning of the word illegal*

is that the decisions of the Committee on these points are, in our opinion, contrary to those of the real legislative body – the Congress of 1887 (...). The Committee is largely composed of those who have hitherto been professionally engaged in making catalogues, and who may thus naturally have a prejudiced view of their importance, while the Congress gained in breadth of view by the association of men from other departments of Astronomy, and even other branches of science (...). “Ce qui me préoccupe surtout c’est de voir la tendance qui se manifeste dans la Conférence à vouloir toujours augmenter un travail déjà si considérable en lui-même” (Procès-verb., p. 51). We would respectfully associate ourselves with M. Cornu^[24] in his anxiety »^[25].

À la réunion de 1891, la résolution 4 établit donc la priorité des clichés de la Carte (Fig. 1.9) sur ceux du Catalogue^[26] ; en particulier, le Comité suggère de privilégier la série des déclinaisons paires, à une pose^[27]. La série des déclinaisons impaires sera à 2 ou 3 poses, dans ce dernier cas de telle façon que l'étoile puisse être identifiée par un petit triangle^[28]. L'idée d'utiliser un écran métallique pour réduire d'une manière uniforme la grandeur des étoiles sur les clichés est également adoptée, même si elle ne sera jamais mise en œuvre pour des raisons techniques^[29].



Figure 1.9. Clichés originaux (sur plaque de verre) de la carte photographique du ciel avec leur étui de rangement.

Enfin, la répartition définitive du travail entre les observatoires est définitivement fixée^[30].

Mais malgré la résolution 4, c'est le Catalogue qui avance, fortement poussé par Gill, qui joue un rôle déterminant au sein du Comité exécutif. La résolution 4 n'est donc qu'un compromis, d'après ses mots :

« (...) our true function is the Catalogue – indeed there was a motion very nearly carried out that we should leave the chart aside and push on the Catalogue plates – And this would have been carried I believe but for the fact that the French astronomers want money from the Government for “personnel” to carry on the work, and that whilst the Chart appeals to the general public – and millions of stars appeal to the popular imagination, the solid work of a catalogue does not do so. Thus a compromise was reached which permitted the Frenchmen to say that the chart was to be commenced at once, although the catalogue plates were first to be pushed on »^[31].

Le Catalogue (Fig. 1.10) devient de plus en plus prioritaire, à cause aussi du retard accumulé dans l'exécution de la Carte. L'attention des astronomes de la Carte du Ciel se concentre donc sur l'achèvement de ce qui au début devait être accessoire. Cela est attesté par le fait qu'à la réunion de 1896, les six premières résolutions concernent le Catalogue^[32]. Pour la Carte on établit simplement que la série des clichés des déclinaisons impaires soit à 3 poses (30 min chacune, ce qui ralentit davantage le travail)^[33] et que, d'après ces clichés, agrandis 2 fois, on produit une photogravure sur cuivre de chaque cliché^[34] pour leur conservation.

Comme il était facile de le prévoir, en 1900 les premières défections se manifestent : les observatoires de Santiago, La Plata et Rio de Janeiro sont remplacés par ceux de Montevideo (sous réserve que des moyens financiers soient trouvés), Cordoba et Perth (sous la même réserve que Montevideo)^[35]. Le Comité laisse la liberté de choix pour la série impaire (1 pose de 40 min ou 3 poses de 30 min)^[36]. De plus, il crée une sous-commission pour la détermination de la parallaxe d'Eros à partir d'un programme d'observations lors de l'opposition de la petite planète prévue pour décembre 1900^[37].

Le projet commence donc à se fragmenter et, par conséquent, à s'affaiblir de plus en plus. Les résolutions de la réunion du Comité International

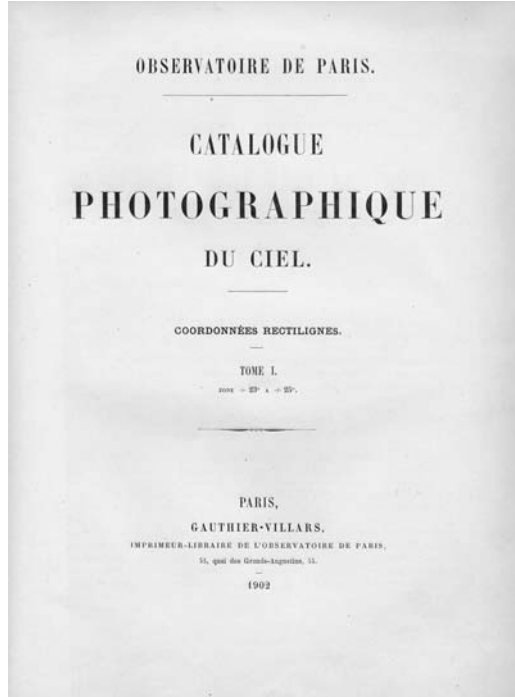


Figure 1.10. Frontispice du premier volume du Catalogue photographique de l'Observatoire de Paris.

Permanent de 1909 donnent clairement l'idée d'un projet désormais à la dérive^[38], sans contrôle : on sollicite la publication des parties du Catalogue confiées aux observatoires australiens participants ; l'Observatoire de Santiago est remplacé par celui d'Hyderabad et l'Observatoire de Cordoba par celui du Cap^[39] ; le Comité recommande la répétition des plaques de la Carte ayant déjà une vingtaine d'années, au même angle horaire et à la même date de l'année, pour l'étude des mouvements propres^[40] – ce qui paraît scientifiquement sensé mais inopportun dans le contexte général ; une série spéciale de clichés couvrant les *Selected Areas* de Kapteyn^[41] est ajoutée – cela est aussi scientifiquement sensé mais ralentit ultérieurement l'achèvement du projet. De plus, on décide que les clichés à 3 poses seront pris en deux nuits différentes^[42] – décision qui paraît tout à fait critiquable, vu le retard dans la prise de ces clichés. Finalement, il est nécessaire de s'occuper du réglage des instruments^[43] en activité depuis presque vingt ans. Les astronomes établissent enfin trois sous-commissions : celles du Catalogue des étoiles de repère, de la parallaxe d'Eros et des recherches spéciales^[44].

Un projet devenu fragmenté et dispersé de cette façon ne peut plus avoir de justification scientifique claire. Il était donc prévisible que l’UAI, qui reprend le projet quelques années plus tard, propose au moins l’achèvement du Catalogue, qui était plus avancé et pouvait donner lieu à beaucoup plus d’applications.

Aspects politiques

Pour saisir les aspects politiques de l’entreprise, il suffit d’examiner la liste des Observatoires participants (Tab. 1.2).

Tableau 1.2. Repartition du travail photographique.

+90° à +65°	Greenwich
+64° à +55°	Vatican
+54° à +47°	Catane
+46° à +40°	Helsingfors (= Helsinki)
+39° à +32°	Potsdam (remplacé ensuite par Uccle)
+31° à +25°	Oxford
+24° à +18°	Paris
+17° à +11°	Bordeaux
+10° à +05°	Toulouse
+04° à -02°	Alger
-03° à -09°	San Fernando (Fig. 1.11)
-10° à -16°	Tacubaya (= Mexico)
-17° à -23°	Santiago (remplacé ensuite par Hyderabad)
-24° à -32°	La Plata (remplacé ensuite par Cordoba)
-33° à -40°	Rio de Janeiro (remplacé ensuite par Perth)
-41° à -51°	Cap de Bonne-Espérance
-52° à -64°	Sydney
-65° à -90°	Melbourne (remplacé ensuite par Sydney)

L’absence d’observatoires des États-Unis est frappante. Deux raisons principales peuvent l’expliquer. D’abord, le développement de l’astrophysique qui, dans ce pays, mobilise d’importantes forces scientifiques et devient en effet l’orientation principale de la recherche astronomique. Cela est rendu possible par les importants investissements privés dans la construction d’instruments de plus en plus puissants, par l’absence de préjugés envers l’« astronomie

nouvelle », qui se détache de plus en plus de l'astronomie traditionnelle pour devenir une discipline indépendante et, en général, par l'attention vers tout ce qui est moderne, trait caractéristique de la culture des États-Unis à l'époque. La seconde raison qui peut expliquer l'absence d'établissements nord-américains est liée à la réalisation d'un projet parallèle par Edward Pickering, perçu par les Européens comme un projet concurrent.

Pickering avait envoyé au Congrès de 1887 une lettre dans laquelle il exposait ses idées sur le sujet. Il suggérait en particulier d'adopter un instrument à double lentille qu'il avait projeté pour l'Observatoire de Harvard : il s'agit du Bruce Telescope, qui sera construit en 1893 et installé deux ans plus tard dans la station d'Arequipa au Pérou.

La proposition de Pickering fut rejetée par le Congrès pour des raisons qui lui ont été expliquées par Gill :

« Your letter to the Congress received much more consideration than you appear to think. (...). The question of the adoption of combinations giving very large fields, composed of 4 lenses was fully talked out (...). The scale of magnitude and accuracy to be attained were really the points which went against the 4 glass combination. Nothing less than 14th magnitude stars would satisfy a large number

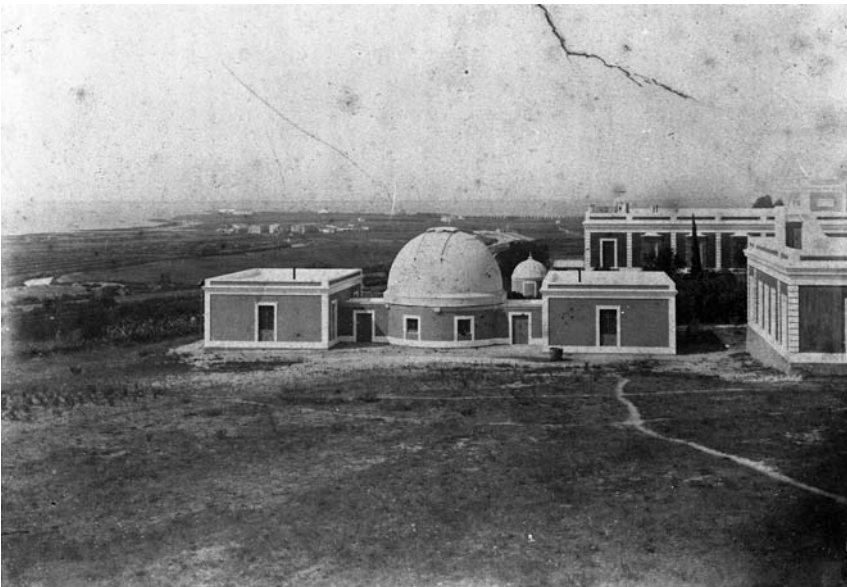


Figure 1.11. Observatoire de San Fernando (Chili) au début du xx^e siècle.

of members of the Congress and it was felt that if we go beyond 15 minutes of exposure we ran some risk of failure. To combine these conditions would have involved the use of lenses of 12 or 13 inches aperture and 4 glass lenses of this aperture would have cost too much – indeed I do not know if we could get them made at all. (...) I hardly think you can use so large a field to advantage because of the changes in the differential refraction during exposure – the correction of a 4 glass objective is also a species of compromise and the law of distortion is probably troublesome to deal with. In fact the Congress was determined to do the work on a scale of accuracy and magnitude which appeared to exclude the use of double combinations »^[45].

Pickering préfère donc ne pas s'associer au projet de la Carte du Ciel, et poursuit ses propres projets :

« (...) seventeen observatories have undertaken to photograph the entire sky with telescopes of the usual form thirteen inches diameter. Several years will be required for this work. They propose to photograph stars to the 14th magnitude. Our 8-inch telescope photographs fifteenth magnitude stars. The Bruce telescope can hardly fail to take as faint stars or to surpass the Paris photographs. If it succeeds as I anticipate it should take five to ten times as many stars (...). I do not feel that I am to blame if with one telescope we do more and better work than with seventeen of the usual form ».^[46]

Ce choix est fortement critiqué dans les pages de *The Observatory*, où le projet de Pickering est clairement perçu comme concurrent :

« (...) if Prof. Pickering is right in thinking that he can chart the whole sky in two or three years with a single telescope, then the combination of seventeen observatories to do the same work is all wrong (...). He has thrown out a distinct challenge, and matched himself against the rest of the world in the same undertaking. (...) he has tacitly condemned the work of the International Conference before it is commenced, and claimed success for itself ; whereas it is comparatively certain that the former work will be carried out, based as it is on definite work with a known instrument ; while his own plan depends on that assumption, which has so often proved delusive, that a telescope may be multiplied by three ».^[47]

Pickering utilisera le Bruce Telescope pour la photographie céleste mais il évitera de se mettre en compétition avec la Carte du Ciel. C'est pourtant à lui qu'on doit la première carte photographique complète du ciel, réalisée toutefois

avec des petites caméras et achevée en peu d'années, en 1903, avec 55 clichés, couvrant chacun une région du ciel de plus de 30° de côté et reproduisant les étoiles jusqu'à la 12^e grandeur. Il faut remarquer que Pickering commence cette carte en décembre 1898, quand le retard de la *Carte du Ciel* était déjà très avancé et il aura la prudence d'expliquer que l'utilité principale de cette carte était surtout la mesure des variations photométriques et un peu moins celle des positions^[48].

En outre, à partir de la liste des observatoires participants, on peut remarquer qu'avec quatre observatoires engagés dans l'entreprise, la France devient non seulement le promoteur mais aussi le maître d'œuvre du projet. La *Carte du Ciel* était une occasion importante pour la valorisations des observatoires de province qui venaient d'être créés depuis une dizaine d'années environ. Il s'agit d'un investissement considérable de la part du gouvernement français : si l'Observatoire de Paris jouera toujours un rôle central, tous les observatoires français participant à la Carte du Ciel se distingueront par leur activité. À l'observatoire d'Alger, Charles Trépied (1845-1907) rédigea, à partir des résolutions adoptées, un règlement pour tous les observatoires participants, qui sera fondamental dans la mise en route du projet. Benjamin Baillaud (1848-1934), à l'observatoire de Toulouse mènera si bien le travail qu'il sera choisi en 1907 comme successeur de Maurice Lœwy (1833-1907) à la direction de l'Observatoire de Paris. À l'observatoire de Bordeaux, le choix du directeur Georges Rayet (1839-1906) de participer à la Carte du Ciel fera changer complètement l'orientation de la recherche, en la dirigeant vers l'astrométrie plutôt que vers l'astrophysique, comme il était dans ses intentions à l'origine de sa nomination^[49].

On peut mentionner d'autres participations qui paraissent inattendues. En Italie, l'implication de l'observatoire de Catane, premier observatoire astrophysique italien, n'était pas du tout prévu dans le programme scientifique de cette institution, centré sur l'astrophysique. En Allemagne, c'est également le cas de Potsdam. Pourquoi des observatoires d'astrophysique se sont-ils engagés dans un projet d'astrométrie ?

Dans le cas de Catane, c'était probablement pour accroître sa visibilité : cet observatoire, encore très jeune – il avait été officiellement institué en 1883 – se trouvait ainsi engagé dans une coopération internationale et il pouvait obtenir du gouvernement italien des financements spéciaux pour acheter des instruments photographiques modernes.



Figure 1.12. Reproduction d'une plaque de la Carte du Ciel prise à l'observatoire de Catane.

En effet, l'esprit dans lequel plusieurs observatoires ont participé, et surtout ceux de l'hémisphère austral, est bien mis en évidence dans une lettre de l'astronome australien William E. Cooke (1863-1947) au Secrétaire Colonial :

« The importance of this matter can scarcely be over-estimated. It is a direct invitation from the entire scientific world to participate in the greatest scientific work that has ever been undertaken in the world's history (...). We have the opportunity of acquiring scientific lustre » ^[50].

Il s'agissait donc d'acquérir du lustre scientifique mais aussi une identité politique, spécialement dans le cas de colonies par rapport à la mère patrie. Il en est ainsi pour les observatoires australiens, mais aussi du Mexique, avec Tacubaya, ou des nations jeunes telle que l'Argentine, le Brésil ou le Chili, également en compétition entre eux. La raison de l'échec de la participation de ces derniers pays s'explique aussi par leur hâte de s'asseoir à la même table que les autres nations, sous-estimant les ressources financières et techniques nécessaires pour participer à cette entreprise (personnel, matériaux, etc.)^[51].

Et que dire du Vatican ? Là aussi ce sont de fortes raisons politiques qui se mêlent à celles de caractère scientifique. La perte de l'identité politique – et des territoires – à la suite de l'occupation de Rome par l'armée du Royaume d'Italie en 1870, et la confiscation de l'observatoire du Collège Romain, en 1878, après la mort d'Angelo Secchi S. J. (1818-1878) jouent un rôle majeur dans la participation du Vatican à l'entreprise de la Carte du Ciel. L'État pontifical avait besoin de retrouver sa visibilité internationale, au moins dans le contexte scientifique : la Carte du Ciel lui en donnait l'occasion. L'observatoire du Vatican est expressément créé pour la Carte du Ciel : ce programme très précis et spécialisé sera la raison principale qui lui permettra un avancement très poussé des travaux photographiques par rapport à l'observatoire de Catane. Ce dernier se ressentira beaucoup de cette sorte de compétition qui se jouait plutôt sur le plan politique que scientifique.

Il y avait donc beaucoup d'intérêts sous-jacents à la participation de chaque observatoire mais il n'est pas possible de les examiner tous dans ce chapitre.

Autres aspects

D'autres aspects méritent d'être approfondis. Ils sont de nature socio-économique tout en restant très liés aux questions politiques. On peut se borner à mentionner les passages suivants, tirés des lettres de sir Howard Grubb (1844-1931) à Gill, qui montrent, par exemple, l'intérêt évident des constructeurs dans l'entreprise de la Carte du Ciel :

« I shall be glad to hear from you as soon as possible about the details of the photographic telescopes. Are there not one or two of them to be made for Australia as well as for Greenwich and the Cape ? Of course, the greater number I have to make, the less price I can make them for »^[52].

« Now I don't think there can be any reasonable doubt that these instruments can be made in our own Country at last as well, probably decidedly better, than in France and my estimate is lower than that of the Frenchmen. If therefore the Government send their orders to France they will have to be prepared with a good reason to do so as I shall certainly take steps to have the question raised in the House. I cannot however think it likely that the Government would go off hand and order instruments (...) without waiting for the advice of the two societies most

interested ; however this matter has put me upon my guard and I think I had better be on the spot whenever any discussion comes on »^[53].

Ce dernier passage montre clairement comment la compétition entre l'industrie française et anglaise^[54] a joué un rôle important dans le déroulement de l'entreprise, car, si l'optimum au niveau scientifique aurait dû conduire les observatoires à tous utiliser le même instrument, il est évident que des raisons économiques et politiques empêchaient cette uniformité. On trouve donc des équatoriaux photographiques Henry-Gautier dans les observatoires français, au Vatican et dans les observatoires de l'Amérique du Sud, des astrographes de Grubb en Angleterre et dans les colonies anglaises, des réfracteurs photographiques de Repsold à Potsdam et à Tacubaya, une lunette Steinheil avec monture Salmoiraghi à Catane, etc. On remarque donc une grande variété, même si tous les instruments présentent les mêmes données techniques – même chose pour les plaques, qui variaient de sensibilité, parfois d'un lot à l'autre dans le cas du même fabricant.

Finalement, il ne faut pas oublier aussi le grand thème de la condition féminine dans les observatoires à la fin du XIX^e siècle, évoquée brièvement mais clairement dans une lettre de David Gill à Ernest Mouchez :

« I am not in the least disquieted by the civil war in Chili nor by the other troubles which you describe in Buenos Ayres. We shall get from these places precisely what I expected, viz. nothing at all. But why disquiet yourself ? (...) It will not be a very serious matter if we have to undertake all the Southern Hemisphere (...) – I mean the mere photography. The measurement of the plates is another matter – and I feel convinced it can be best and most economically done in a Central Bureau. Of course if we can get the money there is no reason why we should not make the measures here, but women's work for this purpose can be procured in Europe at so much less cost than here, and could be so effectually organized and so economically supervised in a single establishment, that I am convinced we shall all be ultimately compelled to adopt that method of working »^[55].

Gill prévoit donc l'échec de la participation des observatoires de l'hémisphère Sud et se montre prêt à relever leur partie de travail photographique ; il propose parallèlement d'instituer un Bureau Central où les travaux de mesure et de calcul seraient confiés à du personnel féminin. Il est certain que les catalogues photographiques ont ouvert un champ important pour l'emploi des femmes dans

les observatoires, car elles étaient généralement considérées, dans une optique très paternaliste, comme plus habiles pour les travaux de précision. Ainsi Dorothea Klumpke (1861-1942) est à la tête du bureau de mesures de Paris ; de nombreux autres bureaux de mesures dans les observatoires de la Carte du Ciel sont investis par les femmes^[56] : même l'observatoire du Vatican confia la mesure des coordonnées stellaires sur les plaques aux sœurs de l'Enfant Vierge Marie (Fig. 1.13).



Figure 1.13. Des sœurs mesurant les plaques photographiques à l'observatoire du Vatican.

Le phénomène n'est pas seulement européen, car aux États-Unis aussi, à Harvard, Pickering confie à un personnel féminin la rédaction des catalogues de classification spectrale^[57].

Conclusions

On voit donc, à travers cette analyse, combien l'histoire de la Carte du Ciel est complexe. Elle constitue un exemple marquant d'entreprise savante où des raisons non scientifiques ont un poids considérable dans le déroulement du projet. Il est évident, en effet, que les points faibles de ce programme relevaient de plusieurs ordres (ambiguïté et diversité des buts – Carte et Catalogue, choix des instruments non homogènes, défauts de management et questions ouvertes, situations économiques et politiques des pays participants très différentes) et que des raisons extérieures (instabilité politique des gouvernements, conflits mondiaux, développement de la technologie, nouvelles problématiques scientifiques, telle que l'astronomie extra-galactique) ont contribué à son échec partiel.

Toutefois, son but scientifique a été heureusement récupéré, après plus d'un siècle, grâce aux récents travaux sur AC2000, ACRS et ATC, donnant ainsi raison aux astronomes qui se sont engagés dans ce projet et qui ont cru en sa valeur scientifique – ce qui a été affirmé dans le dernier rapport de la Commission 23 :

« L'entreprise de la Carte et du Catalogue n'en a pas moins jeté les bases de la coopération internationale dans la science, introduit dans la pratique l'emploi de la photographie, montré ses difficultés, ses méthodes, ses limites. À ceux qui y ont coopéré avec désintéressement, il convient de penser avec gratitude et les résultats que fournira, dans un proche avenir, le Catalogue, justifieront assurément leur persévérance »^[58].

Références

- [1] Lettre de David Gill à Ernest Mouchez, le 18 janvier 1885 (citée in Ileana Chinnici, *La Carte du Ciel. Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Observatoire de Paris & Osservatorio Astronomico di Palermo G. S. Vaiana, Palerme, 1999, p. 4).
- [2] Huggins était l'un des pionniers de l'astrophysique stellaire et, pour ses compétences techniques, il était certainement en mesure de contribuer activement à la discussion du projet.
- [3] Struve était l'une des autorités scientifiques les plus importantes dans le contexte européen et mondial : à l'Observatoire de Poulkovo, il disposait d'instruments d'avant-garde pour l'astronomie de l'époque.
- [4] Lettre d'Ernest Mouchez à Pickering, Huggins, Cruls et Struve, le 26 juin/15 juillet 1885, citée in Ileana Chinnici, *op. cit.*, pp. 4-5.
- [5] Discours de M. le contre-amiral Mouchez, *Congrès astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1887, p. 6.
- [6] Voir : Ileana Chinnici, *op. cit.*, p. 6, notes 9 et 10.
- [7] « Il a été convenu de laisser la Carte en son état actuel, l'intérêt des héliogravures et des reproductions distribuées ayant en partie disparu, si l'on sait conserver les plaques. Des atlas plus modernes (comme le Sky Atlas) suffisent aux identifications, fournissent l'indice de couleur et poussent beaucoup plus loin l'investigation de l'Univers. » (Paul Couderc, « Historique de la Carte du Ciel », *Transactions IAU*, vol. XIVB, *Proceedings of the fourteenth General Assembly, Brighton 1970* (C. De Jager and A. Jappel eds.), Dordrecht, Reidel Publishing Company, 1971, p. 178).

- [8] Il faut mentionner que récemment, en 2000, la Commission 24 a été réunie à la Commission 8 (Astronomie de position) pour devenir la nouvelle Commission 8 « *Astrométrie* » ; au sein de cette Commission, un Groupe de Travail « *Carte du Ciel* » a été créé pour étudier l'exploitation ultérieure des données recueillies.
- [9] Résolutions 3a et b, *Congrès Astrophotographique...*, *op. cit.*, 1887, p. 101.
- [10] Résolution 5, *ibidem*, p. 101.
- [11] Résolution 15, *ibidem*, p. 102.
- [12] Résolution 16, *ibidem*, p. 102.
- [13] Résolutions 17-18, *ibidem*, pp. 102-103.
- [14] Résolution 19, *ibidem*, p. 103.
- [15] Résolution 4, *ibidem*, p. 101.
- [16] Résolution 6, *ibidem*, p. 102.
- [17] Résolution 2, *ibidem*, p. 101.
- [18] Résolution 4, *Congrès astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1889, p. 107.
- [19] Résolutions 7-9, *ibidem*, p. 108.
- [20] Résolutions 16-17, *ibidem*, p. 108.
- [21] Résolution 23, *ibidem*, p. 109.
- [22] Résolution 25, *ibidem*, p. 109.
- [23] Lettre de David Gill à Ernest Mouchez, le 17 août 1889, citée in Ileana Chinnici, *op. cit.*, p. 105 (souligné dans l'original).
- [24] Le physicien Alfred Cornu (1841-1902) avait étudié l'extension du spectre solaire aux rayons ultraviolets dans les années 1870-1880 et il avait donc des compétences scientifiques et techniques remarquables en matière de photographie : c'est pourquoi il avait été invité par l'Académie des Sciences à participer aux travaux des Congrès Astrophotographiques.
- [25] *The Observatory*, 1891, pp. 184-185.
- [26] *Congrès Astrophotographique...*, *op. cit.*, 1891, p. 132.
- [27] Résolution 8, *ibidem*, p. 133.
- [28] *Ibidem*, p. 133.
- [29] Résolution 9, *ibidem*, p. 133.
- [30] Résolution 15, *ibidem*, p. 135.
- [31] Lettre de David Gill à Edward Pickering, le 8 avril 1891, citée in B. Z. Jones, L. G. Boyd, *The Harvard College Observatory*, Harvard University Press, Cambridge Mass., 1971, p. 210.
- [32] *Congrès astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1896, pp. 85-86.
- [33] Résolution 8, *ibidem*, p. 86.

- [34] Résolution 9, *ibidem*, p. 86.
- [35] Résolutions I.1-3, *Congrès Astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1900, p. 155.
- [36] Résolution I-6, *ibidem*, p. 156.
- [37] Voir : Annexe n° 7, *ibidem*, p. 89 et Résolutions II.1-7, *ibidem*, pp. 156-157.
- [38] Il faut ajouter que, de 1887 à 1909, quatre directeurs de l'Observatoire de Paris s'étaient succédé à la tête du projet : Mouchez meurt en 1892 et son successeur, Félix Tisserand (1845-1896), quatre ans après, Maurice Loewy (1833-1907) guide le déroulement de l'entreprise pendant une dizaine d'années, puis c'est Benjamin Baillaud qui lui succède. Tous ces changements soudains rendaient évidemment difficile la continuité du travail.
- [39] Voir : Résolution 1, *Congrès Astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1909, p. B.103.
- [40] Résolution 2, *ibidem*, pp. B.103-B.104.
- [41] Résolutions 4-5, *ibidem*, p. B.104.
- [42] Résolution 10, *ibidem*, p. B.106.
- [43] Résolution 11, *ibidem*, p. B.106.
- [44] Résolution 21, *ibidem*, p. B.109.
- [45] Lettre de David Gill à Edward Pickering, le 22 juin 1887, citée in B. Z. Jones, L. G. Boyd, *op. cit.*, p. 209.
- [46] Lettre d'Edward Pickering à Catherine Bruce, 1888, citée in B. Z. Jones, L. G. Boyd, *op. cit.*, p. 275.
- [47] *The Observatory*, 1889, pp. 310-311.
- [48] « *These photographs have proved unexpectedly useful here for determining the past as well as the present changes in light of variable stars, new stars and similar objects (...). Of course, the small scale diminishes their value for measuring positions, although the minuteness of the images in part compensates for this difficulty* », E. Pickering, « A photographic map of the entire sky », *The Astrophysical Journal*, 18, 1903, p. 70.
- [49] Ileana Chinnici, « Le voyage scientifique de George Rayet en Italie et la fondation de l'observatoire de Bordeaux », in P. Brouzen, S. Débarbat, (eds.), *Sur les traces de Cassini. Astronomes et observatoires du Sud de la France. 121^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Nice, 1996*, Paris, Editions du CTHS, 2001, pp. 259-269.
- [50] Lettre de William E. Cooke au Colonial Secretary, 1896, citée in R. Haynes, D. Malin, R. McGee, *Explorers of the Southern Sky. A History of Australian Astronomy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, p. 91.
- [51] Par exemple, les astronomes de Cordoba devaient acheter en Europe les plaques photographiques : il est donc normal que cela entraîne un retard croissant avec tous les problèmes d'envois, tels que des retards dans le départ des bateaux, l'arrivée de plaques cassées ou endommagées, etc.

- [52] Lettre de Howard Grubb à David Gill, le 14 mai 1887, citée in I. S. Glass, *Victorian Telescope Makers. The Lives and Letters of Thomas and Howard Grubb*, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1997, p. 133.
- [53] Lettre de Howard Grubb à David Gill, le 1^{er} juin 1887, citée in *Ibidem*, p. 134. Pourtant, sur la probabilité de réussite de Grubb, voici le commentaire de l'astronome d'Oxford, Charles Pritchard (1808-1893) : « *There is no prospect of the completion of any 13-inch. Photo-objective in England for some time to come. I have already examined three objectives as supplied by Sir Howard Grubb, but neither of them has proved efficient for the purposes of the "Carte du Ciel"* ». Lettre de. Charles Pritchard à Ernest Mouchez, le 18 juillet 1889, citée in I. Chinnici, *op. cit.*, p. 276.
- [54] Il ne faut pas négliger, non plus, la compétition avec l'Allemagne.
- [55] Lettre de David Gill à Ernest Mouchez, le 30 août 1891, citée in Ileana Chinnici, *op. cit.*, p. 107.
- [56] Voir par exemple pour l'observatoire de Toulouse : Jérôme Lamy, « La Carte du Ciel et la création du "Bureau des Dames" à l'observatoire de Toulouse », *Nuncius, Journal of the history of science*, vol. XXI, 1, pp. 101-120.
- [57] On peut mentionner les noms bien connus de Williamina Fleming (1857-1911), de Henrietta Leavitt (1868-1921), de Annie Cannon (1863-1941).
- [58] P. Couderc, *op. cit.*, p. 178.

Indications bibliographiques complémentaires :

- Jones D., « The scientific value of the Carte du Ciel », *Astronomy & Geophysics*, 41, 5, 2000, pp. 5-16.
- *La mesure du ciel*, Catalogue d'une exposition de l'Observatoire de Paris (mai-juin 1987), Observatoire de Paris publ., 1987.
- Lankford J., « The impact of photography on astronomy » in O. Gingerich (ed.) *The General History of Astronomy 4A*, Cambridge University Press, 1984, pp. 16-39.
- Leverington D., *A History of Astronomy from 1890 to the Present*, Springer-Verlag, 1995.
- Débarbat S., Eddy J. A., Eichhorn H. K., and Uggren eds., *Mapping the Sky – Past heritage and future directions* IAU Symposium n° 133 (Paris, June 1987), Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1988.
- Osterbrock D. E., *Pauper & Prince. Ritchey, Hale & Big American Telescopes*, The University of Arizona Press, 1993.
- Pickering E. C., « A photographic map of the entire sky », *The Astrophysical Journal*, 18 (1903), pp. 70-74.

- Turner H. H., Common A. A., « Another Photographic Chart of the Heavens », *The Observatory* XII (1889), pp. 308-311.
- Turner H. H., Common A. A., « The Astrographic Chart », *The Observatory* XIV (1891), pp. 184-188.
- Van Helden A., « Telescope building 1850-1900 » in O. Gingerich (ed.) *The General History of Astronomy* 4A, Cambridge University Press, 1984, pp. 40-58.
- Weimer T., *Brève histoire de la Carte du Ciel en France*.

LA CARTE DU CIEL ET L'AJUSTEMENT DES PRATIQUES (FIN XIX^e - DÉBUT XX^e SIÈCLE)

Jérôme LAMY

LISST – UMR CNRS 5193 – Université Toulouse II

Introduction

L'entreprise de la Carte du Ciel, initiée par Ernest Mouchez de l'Observatoire de Paris et David Gill, directeur de l'observatoire du Cap de Bonne-Espérance, mobilise dix-huit observatoires à travers le monde. Ce programme scientifique international repose sur une définition unique des moyens et des méthodes à employer pour obtenir et mesurer les clichés. L'harmonisation des pratiques se met en place dès la Conférence de 1887 avec l'adoption d'une série de résolutions qui constituent un corpus de normes pour l'exécution de la Carte du Ciel. Toutefois, cette volonté de régler les actes des astronomes et d'unifier les modes opératoires se heurte très vite à la diversité des pratiques et des conditions locales.

Dans cette communication, nous examinerons la manière dont s'organisent, pour la Carte du Ciel, les ajustements entre les règles nécessaires à la cohérence d'une recherche scientifique internationale et la multiplicité des

expériences individuelles. Nous analyserons pour cela la mise en place de l'organisation prescriptive de la Carte du Ciel. Puis nous détaillerons les modes d'ajustement des pratiques en nous appuyant sur le fonctionnement des Conférences internationales et la diffusion du *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel*. Nous étudierons plus précisément les tomes I et II de ce support éditorial original, parus en 1892 et 1895, afin de saisir, dans les premières années de la Carte du Ciel, les évolutions de l'organisation et de la coordination des pratiques.

La mise en place d'un système normatif de coordination

Les premières années de fonctionnement de la Carte du Ciel sont marquées par la constitution d'un corpus strict et précis des règles à suivre. Les décisions, prises notamment en 1887 lors de la première conférence astrophotographique, décrivent et fixent les modes opératoires et les pratiques.

L'ensemble est destiné à répéter les mêmes gestes dans chaque observatoire, et à uniformiser les actes. Les organisateurs sont conscients que le manque de normes communes pourrait compromettre l'entreprise scientifique. Le directeur de l'Observatoire de Paris en 1901, Maurice Loewy, précise ainsi que « *dans toutes les grandes entreprises scientifiques réclamant de nombreuses collaborations, on s'est heurté à de nombreuses difficultés. L'absence de coordination et d'homogénéité s'y faisait sentir (...)* »^[1]. L'astronome considère que le succès de la Carte du Ciel tient précisément à « *l'unité de vues peut-être sans égales dans l'histoire de l'Astronomie* »^[2] qui caractérise l'entreprise scientifique.

Au début du programme de cartographie céleste, les deux initiateurs Ernest Mouchez et David Gill, se montrent déterminer à faire appliquer des méthodes photographiques et calculatoires identiques pour tous les observatoires engagés. Mouchez indique clairement en 1888 qu'il tient à ce que « *les bases définitives et uniformes du levé de la Carte du Ciel et de la construction du Catalogue* »^[3] soient rapidement arrêtées. David Gill milite, lui, pour l'ouverture d'un bureau spécial de mesure et de publication rassemblant toutes les activités de calcul et d'édition liées à la Carte du Ciel. L'astronome sud-africain remarque avec son confrère allemand Georg Auwers, en 1889, qu'il s'agit d'un moyen efficace de construire un catalogue « *d'après un plan rigoureux [et] uniforme (...)* »^[4]. Gill envisage même d'ériger ce centre de calcul à proximité du Bureau Internationale des Poids et Mesures de Sèvres, afin de bénéficier de l'expérience

de ce dernier dans l'unification des normes^[5]. Au-delà des modes opératoires, le directeur de l'observatoire du Cap de Bonne-Espérance se montre très soucieux de livrer à tous les établissements astronomiques participant à la Carte du Ciel, un matériel rigoureusement identique. Il souhaite, en 1888, que soient fabriquées et distribuées, « *depuis le commencement jusqu'à la fin du travail, des plaques de même qualité (...)* », sous peine de manquer de « *régularité ou tout au moins d'uniformité* »^[6].

Projeté au cœur de l'observatoire, l'entreprise de la Carte du Ciel entraîne un morcellement considérable des tâches. On peut distinguer quatre opérations distinctes.

Le catalogue des positions précises des étoiles constitue une première activité, qui nécessite l'usage d'une lunette méridienne et la spécialisation d'un astronome pour cette recherche.

La deuxième opération consiste à photographier la zone céleste réservée à chaque observatoire. Il s'agit donc de prendre les clichés, de les développer et de vérifier leur validité. Ernest Mouchez insiste dès le début sur l'aspect novateur de cette nouvelle pratique photographique. Le rôle de l'observateur est totalement bouleversé. Les dispositifs photographiques déplacent l'astronome et réduisent les manipulations des instruments. L'anatomie humaine ne permet pas l'examen d'étoiles, « *l'œil étant ébloui (...) par d'innombrables et brillants grains de poussière* »^[7]. La sensibilité du cristallin n'est en rien comparable avec celle de la plaque photographique qui enregistre fidèlement et distinctement « *plusieurs centaines d'étoiles peu différentes en grandeur, parfaitement définies (...)* »^[8], là où l'observation directe ne permet de voir qu'une masse compacte d'objets célestes. L'astronome quitte donc le foyer de l'instrument.

La troisième opération que nécessite la Carte du Ciel est l'examen des clichés à l'aide d'un microscope qui met la précision photographique à la portée de l'observateur. Les frères Paul et Prosper Henry ont donc conçu « *un appareil de mesure ou Macro-Micromètre* »^[9] (Fig. 2.1).

Il se compose « *d'un chariot glissant sur deux rails horizontaux* »^[10]. Ce système mobile « *porte un plateau circulaire sur lequel peuvent être fixées les épreuves dont on veut effectuer les mesures. (...) Ce plateau est destiné à la mesure de l'angle de position des étoiles photographiées* »^[11]. Un microscope, placé

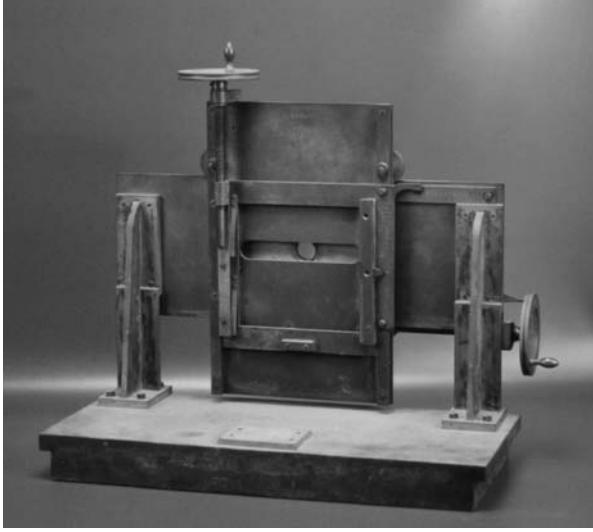


Figure 2.1. Machine à mesurer les clichés de Paul Gautier.

au-dessus, « *peut être déplacé horizontalement dans une direction perpendiculaire au mouvement du chariot* »^[12]. L'objet permet d'obtenir une précision « *vraiment remarquable* »^[13], assure Mouchez. L'astronome n'observe donc plus directement, dans la coupole.

L'examen du ciel est déplacé et différé. Le directeur de l'Observatoire de Paris souligne que l'équatorial photographique (Fig. 2.2) permet « *de transporter (...) l'image de la voûte céleste dans le cabinet de travail* »^[14]. Les clichés reproduits se démultiplient à l'infini et circulent entre les observateurs, sans qu'ils aient eu à manipuler l'astrographe. Mouchez insiste sur l'inflexion profonde qu'engendre la photographie dans la pratique astronomique. « *Il ne sera plus nécessaire de disposer de grands et coûteux instruments, ni de se fatiguer à passer des nuits à les manœuvrer ; il ne sera plus nécessaire de se transporter (...) : toutes ces opérations se trouveront transformées en une étude au microscope, faite à loisir, commode, facile, sans frais aucun (...)* »^[15]. Précision et mécanisation président donc au projet imaginé par l'amiral Mouchez. Délaisant l'observation directe, l'astronome se concentre sur la mesure et le calcul, aidé par la technique (Fig. 2.3).

La quatrième opération concerne la réduction des clichés. Il est nécessaire de mener une série de calculs afin de ramener l'ensemble des mesures de position d'étoiles à un système cohérent de coordonnées.

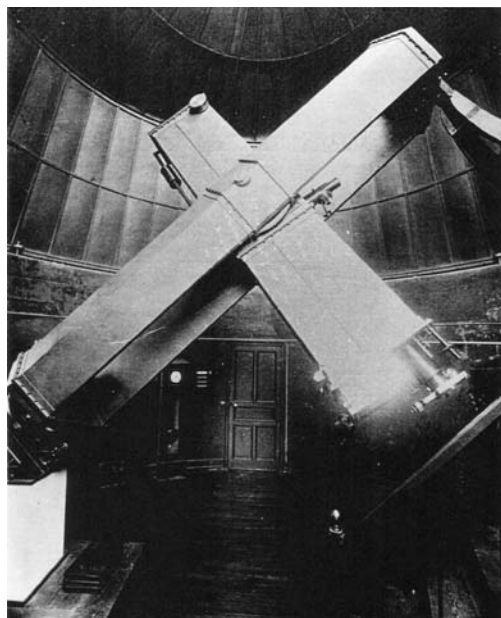


Figure 2.2. Équatorial photographique de la Carte du Ciel (Observatoire de Toulouse).



Figure 2.3. Examen d'une plaque photographique de la Carte du Ciel (Ernest Mouchez, La photographie astronomique à l'Observatoire de Paris et la Carte du Ciel, Paris : Gauthier-Villars, 1887, p. 42).

Le plus souvent ce sont des femmes, rassemblées dans des bureaux de calculs, qui sont chargées de mener à bien les opérations de mesure et de réduction (Fig. 2.4).



Figure 2.4. Les dames du Bureau de mesures de la Carte du Ciel (Observatoire de Paris) : Dorothea Klumpke, Mesdemoiselles Schott, Marquetti, Coniel, Dauphin, vers 1894.

On mesure donc combien les différentes étapes qui contribuent à la cartographie céleste sont complexes. Elles font intervenir une multitude d'acteurs aux compétences distinctes, en même temps qu'elles mobilisent un corpus technique nouveau. Les ressources cognitives et techniques déterminent des configurations pratiques que les instigateurs de la Carte du Ciel s'efforcent d'uniformiser.

Lors de la première Conférence astrophotographique internationale, qui s'est tenue à Paris en 1887 (Fig. 2.5), plusieurs résolutions sont prises afin d'encadrer les pratiques et de définir l'outillage technique^[16].

Dans un premier temps, certains astronomes réclament précisément ce corpus de règles afin de pouvoir commencer leur part du travail. Robert Ellery, à l'observatoire de Melbourne, explique en 1891 qu'il attend les dernières décisions de la Conférence, « *dans la position d'une armée de réserve guettant l'ordre d'avancer* »^[17].

Le modèle d'instrument adopté est précisément défini lors des premières Conférences. Il est également strictement répliqué pour la quasi-totalité des observatoires participant à la Carte du Ciel. Il s'agit d'un astrographe possédant

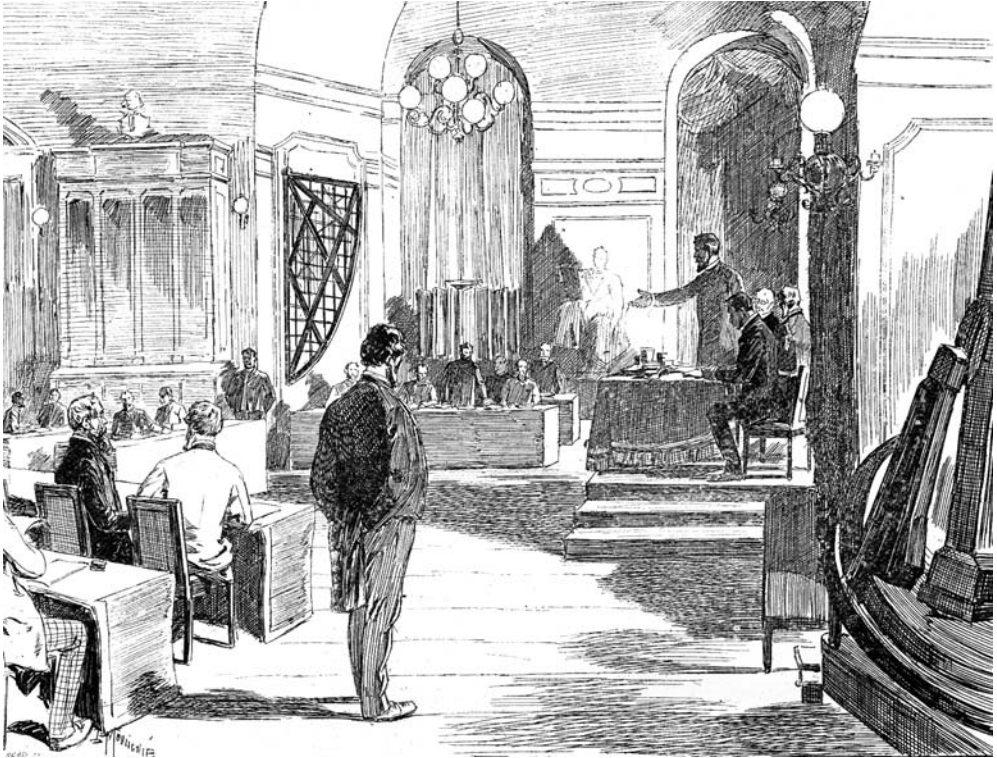


Figure 2.5. La salle du congrès des astronomes à l'Observatoire de Paris lors du Congrès international pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel en 1891 – Dessin de M. Moulinié.

un objectif de 33 cm et dont la distance focale doit être de 3,43 m^[18]. L'exécution, le développement et la mesure des clichés sont strictement encadrés. Les résolutions de 1889 détaillent jusqu'aux manières d'ordonner et d'archiver les plaques photographiques. Il est ainsi précisé que chaque cliché doit porter « *au coin NE de la plaque un numéro d'ordre se rapportant à un registre. Sur ce registre seront inscrites : 1° la date, 2° les heures du commencement et de la fin de la pose, 3° la température du tube de la lunette, 4° la hauteur barométrique* »^[19].

Cette uniformisation des pratiques accentue le souci de calibrer les observateurs dont Simon Schaffer a souligné l'importance pour l'astronomie du xix^e siècle^[20]. L'examen des clichés de la Carte du Ciel pousse à son paroxysme la procédure visant à déterminer les équations personnelles en ce qui concerne la taille des étoiles. Afin d'uniformiser les mesures et de lisser les différences physiologiques entre observateurs, le constructeur Paul Gautier met au point « *un microscope d'égalisation permettant de rendre toute image d'un cliché égale à*

l'une ou à l'autre des images de l'échelle entre lesquelles elle est comprise »^[21]. Les défauts propres à l'opérateur sont donc corrigés par un dispositif instrumental. La vue des observateurs devient une variable que l'on peut corriger. Les premières prescriptions très directives de l'entreprise de la Carte du Ciel ainsi que le processus d'harmonisation, d'uniformisation et de lissage d'idiosyncrasies qui les sous-tendent visent à transformer les opérations scientifiques, à les réduire en un corps d'actes prédéfinis et strictement calibrés. Cette organisation de l'activité scientifique s'inscrit dans un mouvement plus large de transformation des espaces savants en véritable usine. Le modèle industriel s'impose notamment dans les observatoires au XIX^e siècle par une plus grande rationalisation des tâches, une forte division du travail et une standardisation massive des pratiques. La Carte du Ciel projette, à l'échelle du monde, un mode de fonctionnement déjà en place dans chaque établissement astronomique.



Figure 2.6. Travail de mesure des plaques photographiques à l'observatoire de Toulouse vers 1900.

Politique de l'ajustement

Toutefois, dès les premières mises en pratique des opérations de cartographie céleste, des résistances se font jour. Très rapidement le système normatif mis en place pour assurer une collecte homogène de données se révèle trop contraignant. L'étroitesse des dispositions recommandées s'accommode mal des disparités géographiques inhérentes à un projet mondial. Ainsi, il est prévu que la durée des poses serait de 40 minutes. Or tous les climats du globe ne permettent pas une aussi longue période de temps favorable^[22].

Au début de l'entreprise de cartographie céleste, l'élaboration de l'ensemble des règles destinées à maintenir une cohérence des modes opératoires est essentiellement théorique. Les astronomes examinent parfois avec scepticisme ces directives conçues sur le papier.

À l'observatoire de Toulouse, Henry Andoyer avoue en 1891 qu'il est « *fort sceptique (...) sur une foule de minuties qui seront avantageusement remplacées par l'expérience de l'observateur* »^[23]. Il estime que le travail envisagé « *ne révèle guère les innombrables difficultés que quand on le pratique* »^[24]. Les astronomes opposent leur expérience d'observateurs aux exigences pointilleuses des premières conférences de la Carte du Ciel. Ils soulignent que la pratique quotidienne, l'habitude du maniement des instruments et la répétition des actes forment un savoir empirique plus adéquat.

4

⋆ =
D =
θ =

Cliché N° 833

9.9.1906

Figure 2.7. Examen d'un cliché de la Carte du Ciel.

La mise en place du projet de cartographie céleste révèle une tension entre d'une part un système cohérent de normes distribuées et d'autre part une multitude de particularismes locaux qui tiennent à la géographie ou à

l'expérience des astronomes. Les directeurs des observatoires participant à l'entreprise de la Carte du Ciel constatent rapidement qu'une trop grande prescription normative les mènerait à une impasse pratique. Le projet risquerait d'être paralysé et les observateurs pourraient être découragés par la multiplication de conventions jugées trop vétilleuses. Le directeur de l'Observatoire de Paris en 1895, Félix Tisserand, admet qu'en ce qui concerne « *la détermination des grandeurs photographiques des étoiles* », il était demandé « *au début, une solution trop rigoureuse, et qui n'est pas dans la nature des choses. À vouloir faire le mieux, on risque parfois de manquer le bien* »^[25].

Afin de réduire l'écart entre des moyens trop contraignants et des modes opératoires aussi divers que multiformes dans les observatoires, les principaux acteurs de la Carte du Ciel mettent progressivement en place une politique d'ajustement des pratiques. Il s'agit d'instaurer un rapport dialectique entre les manipulations quotidiennes des astronomes et le corpus de règles destiné à produire une œuvre scientifique homogène. Cette relation dynamique prend la forme d'une série d'articulations entre les conventions, les mises en œuvre concrètes, les standards techniques et les dispositions locales. L'entreprise de la Carte du Ciel est tout entière transformée par le surgissement de cette interaction directe entre l'expérience des observateurs et les prescriptions. L'objectif n'est pas seulement de permettre, selon la formule de Joseph O'Connell, la création de l'universalité par la circulation des particularités dans le domaine métrologique^[26]. Ce sont à la fois les modes opératoires qui sont redéfinis dans les observatoires, et les formes de coopérations scientifiques qui sont modifiées. Les structures de l'entreprise de la Carte du Ciel sont retravaillées pour permettre une définition collégiale et démocratique des normes pratiques. Deux espaces de dialogue, distincts mais complémentaires, s'ouvrent alors pour les participants au projet de cartographie céleste.

Les Conférences : le Parlement de la Carte du Ciel

Le premier concerne les instances décisionnaires de la Carte du Ciel. Initialement, le Comité Permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel ne devait pas revenir sur les décisions prises lors des Conférences réunissant les directeurs des observatoires. En 1890, Ernest Mouchez reconnaît qu'il s'agit là « *d'une simple mesure d'ordre, destinée à hâter la fin du travail préparatoire, et non une loi absolue s'opposant à toute correction d'erreur reconnue après de nouvelles études. Notre œuvre aura une trop grande importance, elle soulève trop de questions nouvelles*

très délicates et différant complètement des anciens procédés astronomiques, pour qu'il n'arrive pas souvent qu'un nouveau progrès ou une étude plus approfondie ne rende indispensable quelque changement dans des décisions déjà prises »^[27]. Au fur et à mesure que les astronomes mettent en œuvre les différentes opérations demandées pour l'exécution du projet de cartographie céleste, les décisions dans les Conférences internationales sont plus longuement discutées. Des résistances se font jour, et les aspects pratiques sont l'occasion de débats et de confrontations. Les votes sur chacune des résolutions font l'objet de négociations intenses et d'argumentations contradictoires. En 1891, plusieurs astronomes contestent une résolution précédemment adoptée qui prévoyait de ne faire qu'une pose pour les clichés. Ils arguent que trois poses successives permettraient de distinguer les vraies étoiles des scories et des imperfections des plaques. La discussion s'engage donc sur l'opportunité d'opter pour un « *système de trois poses* »^[28] pour chaque cliché. Certains participants objectent que « *dans les parties très riches du ciel, il pourrait se produire des confusions regrettables* »^[29]. D'autres avancent que « *les trois poses augmenteront la durée du travail* »^[30]. Jules Janssen, de l'observatoire de Meudon, propose un « *amendement* » qui vise à concilier les deux points de vue. Il suggère de ne faire trois poses que pour certaines parties du ciel à titre de contrôle. La séance est houleuse et le rapporteur note que « *l'accord paraissant très difficile à établir sur cette question de la triple pose, une Commission de onze membres fut chargée d'étudier un projet de résolution* »^[31]. Il est finalement proposé de faire des clichés avec une pose et d'étudier en pratique les vertus d'une pose répétée trois fois. Les astronomes suivent l'avis de la Commission et votent cette résolution. Les Conférences font office de parlement^[32]. Elles fonctionnent comme de véritables instances législatives à la recherche d'un consensus démocratique et reposent sur un travail collectif de négociation.

Le Bulletin : la circulation des opinions

Le deuxième espace dialogique qui s'ouvre dans les années 1890 prend la forme d'un *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*. Le premier volume est publié en 1892 (Fig. 2.8). Dans l'introduction, Ernest Mouchez, qui préside le Bureau du Comité Permanent, précise que ce support éditorial rassemble des mémoires et des renseignements utiles « *à porter à la connaissance des savantes et des observatoires s'occupant de l'exécution des décisions prises par le Congrès astrophotographique (...)* »^[33]. Une section du *Bulletin* est entièrement dédiée à la correspondance. Elle rassemble les courriers adressés par les astronomes aux instances de la Carte du Ciel et,

en regard, les solutions concrètes « adoptées à l'Observatoire de Paris »^[34]. Les éditeurs précisent qu'il ne s'agit que d'un « renseignement utile ; les discussions rest[ant] toujours ouvertes (...) »^[35]. L'objectif, en publiant cette moisson de missives, est de faire advenir « une opinion générale et définitive (...) »^[36].

Le *Bulletin* se présente donc comme un lieu d'information et de discussion visant à produire un large accord. De ce point de vue, il complète et enrichit le travail de négociation des Conférences.

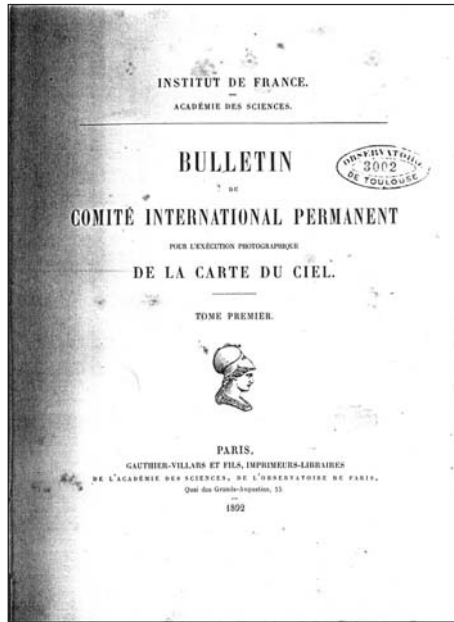


Figure 2.8. Page de garde du premier tome du Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel (1892).

On peut distinguer trois grandes thématiques dans les premiers *Bulletins* qui accompagnent la mise en œuvre de la Carte du Ciel.

La première concerne les épreuves techniques que les astronomes font subir au matériel reçu. La majeure partie des *Bulletins* de 1892 et 1895 est consacrée aux tests des différents équipements. Les directeurs des observatoires ont été chargés « d'études préparatoires à effectuer avant le commencement du levé de la Carte du Ciel »^[37]. Franz Renz, de l'observatoire de Poulkovo, rend compte en 1888 des « mesures effectuées sur un des clichés de MM. Henry »^[38]. En examinant longuement la plaque fournie par les observateurs parisiens, il constate qu'en « faisant

usage d'instruments et de moyens de travail tels que ceux qu'emploient MM. Henry on peut obtenir des photographies remplissant toutes les conditions requises pour une détermination (...) rigoureuse du ciel »^[39]. Nils Duner, le directeur de l'observatoire d'Uppsala souhaite entreprendre, en 1890, une « *enquête sur la fabrication des plaques* ». Il insiste sur la nécessité de mettre en place un « *laboratoire de contrôle pour l'examen des plaques qui seront employées* »^[40]. Refusant de prendre part directement à la cartographie céleste, Duner se propose de transformer son observatoire en centre d'essais techniques : « *Je crois qu'il serait même très utile qu'un observatoire muni d'un instrument du modèle choisi pour le levé de la Carte du Ciel put s'adonner à des recherches sur les questions spéciales dont les observatoires participant au travail de la Carte ne pourraient que difficilement s'occuper* »^[41].

Lors de la réception des premiers équatoriaux photographiques en 1891, les astronomes transmettent au *Bulletin* du Comité Permanent les résultats de leurs premières expérimentations. Charles Trépied qui dirige l'observatoire d'Alger rapporte que les « *essais* » qu'il a effectué en quatre mois l'ont « *pleinement convaincu de l'excellence de l'objectif de MM. Henry* ». Il reconnaît que « *l'instrument fonctionne d'une manière satisfaisante dans toutes ses autres parties* »^[42] et se propose d'en faire la démonstration en distribuant au Comité « *un certain nombre d'épreuves d'essai* »^[43].

Les études techniques menées par les astronomes ne se limitent pas à de simples évaluations des instruments. Les observateurs participent au choix des outils scientifiques en comparant différentes versions du même objet. C'est ainsi qu'Ernest Mouchez publie en 1895 dans le *Bulletin* de la Carte du Ciel une « *circulaire relative à l'essai des écrans (...)* »^[44]. Les écrans à mailles métalliques, placés devant l'objectif, doivent permettre d'harmoniser les échelles de grandeur d'étoiles. Le directeur de l'établissement astronomique parisien compare les écrans fournis par l'observatoire de Potsdam à ceux construites par les observatoires d'Oxford et de Greenwich. Puis il demande aux observatoires engagés dans la Carte du Ciel de mener des expérimentations sur les écrans de Potsdam. Les institutions astronomiques de Bordeaux, Alger, Helsinki, Melbourne, Oxford et Greenwich font part de leurs travaux et détaillent longuement leurs essais pratiques^[45].

Le *Bulletin* du Comité International Permanent de la Carte du Ciel permet donc de confronter les instruments, d'évaluer leurs qualités et leurs avantages pratiques. Il autorise également des échanges entre les astronomes et les constructeurs d'instruments.

Hermann Vogel, directeur de l'observatoire de Potsdam, fait paraître, en juillet 1890, un courrier dans lequel il s'inquiète de la fabrication des réseaux qui permettront de repérer la position de chaque étoile. Vogel remarque qu'il est important « *de ne pas trop serrer le réseau dans son cadre : la moindre tension du verre produit, en effet, des erreurs supérieures aux erreurs limites admissibles* ». L'astronome suggère que « *les plaques devraient être maintenues très légèrement dans le châssis : il suffirait pour cela de la fixer à ses coins* »^[46]. Le constructeur Paul Gautier, en charge de la fabrication des plaques, répond, dans le *Bulletin*, aux appréhensions du savant allemand. L'artiste décrit le système technique dans lequel les « *plaques doivent être maintenues et non fixées dans leur cadre, de façon à ne pas bouger et à permettre au cadre toute dilatation sans avoir sur elle aucune influence* »^[47].

En rassemblant et en diffusant les comptes rendus d'essais instrumentaux ainsi qu'en confrontant les attentes des observateurs et les propositions des constructeurs, le *Bulletin* du Comité Permanent permet de lier entre eux les outils, les pratiques et les normes. Il fait coïncider les sphères techniques et scientifiques et permet l'irruption des expériences pratiques dans un cadre normatif initialement conçu comme intangible.

La deuxième grande thématique que l'on distingue dans les différentes contributions au *Bulletin* de la Carte du Ciel porte sur le partage et la confrontation des expériences. En 1895, le Comité Permanent publie dans le périodique une série de remarques concernant « *l'emploi des réseaux [qui] a soulevé quelques difficultés à cause surtout l'extrême délicatesse de la couche d'argent (...)* »^[48]. Le *Bulletin* indique alors la méthode adoptée par la « *majorité* » des astronomes qui oblitèrent « *de temps à autre à l'aide d'un pinceau les écorchures ou fausses étoiles qui peuvent s'y produire* »^[49]. Les normes de portée universelle édictées au début de l'entreprise sont donc réévaluées à l'aune des pratiques locales. Les astronomes détaillent les difficultés qu'ils rencontrent en suivant à la lettre les instructions données au commencement de l'entreprise de cartographie céleste. Au début des années 1890, plusieurs observateurs écrivent au Comité Permanent pour se plaindre notamment « *de la difficulté de centrer les plaques à 5" près, comme l'a décidé le Congrès en 1889, et ils trouvent cet excès de précision inutile* »^[50].

Le *Bulletin* se fait également l'écho des confrontations et des oppositions entre des options méthodologiques distinctes entre pays. Nils Dunér, de l'observatoire d'Uppsala, a fait paraître une longue lettre dans laquelle il revient sur

les expériences concernant les écrans métalliques et le temps de pose. Il s'intéresse plus particulièrement au coefficient multiplicateur qui lie le temps de pose à l'ordre de grandeur des étoiles. Duner constate que les observatoires de Paris, Bordeaux et Alger ont accepté « *a priori qu'en multipliant le temps de pose par 6,3 on gagne deux grandeurs* »^[51]. L'astronome suédois souligne que « *les résultats obtenus par M. Donner à Helsingfors, à l'aide d'une méthode différente des Observatoires français se trouvent avec ceux-ci en désaccord complet* ». Duner suggère que l'utilisation d'un coefficient constant est une erreur et qu'il conviendrait de lui substituer des facteurs différents selon que les étoiles soient de facteurs supérieurs ou inférieurs à la 11^e grandeur^[52]. Les astronomes français Charles Trépied, Paul et Prosper Henry répondent à l'observateur scandinave, par l'intermédiaire d'une missive insérée dans le deuxième volume du *Bulletin*. Ils reprochent aux observations finnoises – sur lesquelles s'appuie Duner pour contester le coefficient de 6,3 – d'avoir été obtenues avec une méthode contestable puisqu'elle consiste « *à compter sur un cliché le nombre des images suffisamment noires pour se prêter à des mesures précises* »^[53]. Les observateurs français remarquent qu'il s'agit là d'une technique « *sujette à d'assez fortes incertitudes* »^[54]. Le *Bulletin* témoigne, dans les échanges qu'il reproduit, de l'irréductible diversité des méthodes employées par les astronomes. Il met également en lumière la confrontation des pratiques propres à chaque pays. En œuvrant pour un dialogue international, par la circulation des expériences, le *Bulletin* modifie pour les observateurs la perception locale de leurs modes opératoires et les contraint à détailler les allants de soit. C'est donc un travail de mise à jour et de diffusion des évidences pratiques de chaque observateur à l'ensemble des astronomes qu'initie la publication du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel.

Le troisième thème important qui nourrit les *Bulletins* se rapporte à la redéfinition des règles précédemment édictées. Les astronomes, dans leurs mémoires et leurs missives, travaillent les normes préétablies et modèlent le corpus de conventions imposées *ex-abrupto*. Certains observatoires reconnaissent qu'ils sont contraints d'abandonner des résolutions prises lors des Conférences internationales.

Dans une lettre de 1895, Robert Ellery, directeur de l'observatoire de Melbourne, explique que « *la recommandation de prendre des clichés d'épreuve dans chaque soirée d'observation n'a pas été suivie parce qu'elle entravait beaucoup le travail et ne répondait pas d'une manière satisfaisante au but proposé, avec le ciel variable de Melbourne* »^[55]. L'astronome australien a mis au point un autre

moyen d'atteindre le but fixé « *par une voie indirecte* »^[56]. Il examine chaque jour les plaques obtenues la veille et ne conserve que celles sur lesquelles figure nettement une étoile de 9^e grandeur. Les autres sont éliminées et doivent être « *recommencées ultérieurement ; c'est ainsi que se faisait l'essai des plaques* »^[57]. Les observateurs de Melbourne ont donc renoncé à mettre en place les procédures recommandées par la Conférence, mais ils expliquent, dans le même temps, comment ils sont parvenus aux résultats souhaités par une autre méthode.

Le *Bulletin*, tel un palimpseste indéfiniment corrigé, enregistre l'ensemble des modifications apportées au corps de règles énoncées. Ainsi, en 1892, David Gill publie une longue lettre dans laquelle il revient en détail sur la définition du temps de pose. Il suggère *in fine* de revenir sur l'obligation de respecter une durée précise d'exposition des plaques. L'astronome sud-africain propose de s'en remettre à l'attention et à l'expérience de l'observateur qui, jugeant de « *la transparence de l'atmosphère, la tranquillité des images, la sensibilité connue des plaques en usages (...)* »^[58] pourra déterminer lui-même le temps de pose qui conviendra le mieux. En somme les connaissances et les savoir-faire de l'astronome se substituent, dans certains cas, aux normes initiales. L'adresse et l'expérience du savant qui incorpore peu à peu les techniques photographiques et s'initie au maniement des instruments qui lui sont associés, fournissent des solutions pratiques et simplifiées qui rendent caduques des procédures théoriques inadaptées^[59]. L'uniformité souhaitée dans les mesures menace, à terme, l'exécution du projet de cartographie céleste. Le Bureau du Comité International Permanent prend acte de ce danger et accepte la pluralité des pratiques, à condition qu'elles soient contradictoirement et publiquement évaluées. Félix Tisserand reconnaît en 1895 que « *l'idée si séduisante a priori, d'un Bureau international pour les mesures, présentait dans la pratique des difficultés considérables (...). On l'a compris peu à peu ; ainsi la plupart des observatoires se sont-ils procuré des machines propres à mesurer les clichés ; dans plusieurs d'entre eux le travail a même commencé et se poursuit actuellement. Quelques-uns de nos collègues songent à faire des mesures un peu moins précises, mais plus rapidement* »^[60]. La pluralité des dispositifs mis en place pour examiner les plaques est donc admise. Les différences et les divergences feront l'objet d'« *une discussion en commun* »^[61].

Les pratiques instrumentales ne sont pas les seules à être remises en cause dans le travail de redéfinition des normes initialement retenues. Certains outils méthodologiques ou conceptuels sont également transformés et modifiés pour être utilisables par l'ensemble des observatoires. David Gill constate, par

exemple, qu'il n'est plus possible d'admettre « *que la relation entre les grandeurs photographiques et les grandeurs visuelles des étoiles (...) reste constante pour les différentes régions du ciel* »^[62]. Ceci oblige les astronomes à remettre en cause l'emploi de leur échelle des grandeurs et à affiner cette norme de référence.

Le *Bulletin* du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel s'impose comme une surface éditoriale de discussion et de négociation. L'ajustement des pratiques se construit collectivement grâce à la circulation des mémoires et des correspondances. La recherche d'un équilibre entre normes de portée universelle et expériences individuelles et locales se déclinent en trois thèmes dominants à l'intérieur du *Bulletin* : le lien entre les outils techniques, les pratiques et les normes, l'hybridation des modes opératoires par l'échange des points de vue, et la diffusion de nouvelles règles collectivement travaillées et négociées.

Conclusion

Les débuts de l'entreprise de cartographie céleste sont marqués par une mutation importante dans l'organisation de la pratique scientifique. Les instances de la Carte du Ciel imposent d'abord un système normatif qui encadre strictement les modes opératoires. Cette démarche est caractéristique du régime de savoirs qui se met en place en Occident à partir des années 1870. Fondé sur le modèle industriel, il vise notamment à la rationalisation des tâches, à la division du travail et la standardisation des pratiques. Toutefois, en ce qui concerne la Carte du Ciel, cette politique savante trop directive achoppe rapidement sur la multiplicité des particularités locales qui obligent au desserrement de l'étreinte normative. Les instances dirigeantes de la Carte du Ciel modifient leur propre mode de fonctionnement. Elles ouvrent deux espaces dialogiques pour que s'y déploie un rapport dialectique entre la nécessité de diffuser des règles communes et l'expérience des observateurs. Les impératifs d'uniformisation et d'homogénéité sont progressivement traduits en gestes, modifiés, remaniés pour former un nouveau mode opératoire.

La Conférence de la Carte du Ciel et le *Bulletin* du Comité Permanent permet l'élaboration d'un système d'ajustement des pratiques. Celui-ci est d'abord une entreprise collective qui cherche à transcender les opérations individuelles et isolées pour faire advenir un ensemble de règles négociées et non des normes arbitraires. Le *Bulletin* s'impose également, pour les organisateurs et les

participants à l'entreprise de cartographie céleste, comme un instrument réflexif capable de transformer l'organisation des pratiques.

Pour terminer, je voudrais suggérer une explication à la transformation radicale du processus de diffusion des règles et des conventions dans le cadre de la Carte du Ciel. Plusieurs études d'histoire et d'histoire des sciences, dont celles de Jean-Pierre Vernant^[63], Marcel Détienné^[64], Mario Biagioli^[65], Steven Shapin et Simon Schaffer^[66], ont mis en évidence le lien puissant qui unit un mode d'organisation politique à une époque donnée et les conventions qui régissent la communauté scientifique et ses pratiques au même moment.

Dans le cas de la Carte du Ciel, il convient de noter le soin des astronomes engagés dans l'entreprise à signaler le rôle majeur de la France. Otto Struve déclare, lors de l'ouverture de la première Conférence, qu'il s'agit d'une initiative revenant « *entièrement à la France* »^[67]. Il ajoute, s'exprimant au nom de tous les participants : « *Nous le reconnaissons avec gratitude, dans cette entreprise, comme de coutume dans tous les progrès de l'intelligence humaine, votre patrie marche à la tête du monde civilisé* »^[68]. Les astronomes français s'attachent eux aussi à remarquer la prééminence de leur pays dans l'entreprise de la Carte du Ciel. Benjamin Baillaud, directeur de l'observatoire de Toulouse, assure en 1899 que « *c'est bien une œuvre d'origine française dans ses moyens et sa conception* »^[69]. Les autorités politiques françaises exigent de leur côté, par la voix de Louis Liard, directeur de l'enseignement supérieur au ministère de l'Instruction Publique, « *que dans cette œuvre savante, la France eût une part aussi large que possible* »^[70]. Cette insistance à mettre en exergue le rôle de la France, ainsi que la place éminente qu'occupe Ernest Mouchez dans l'organisation de la Carte du Ciel^[71] sont à rapprocher de la montée en puissance du nouveau régime politique qui se met peu à peu en place en France avec le second Empire en plaçant le parlement au cœur même du dispositif démocratique. Dans le même temps, les lois sur liberté de la presse permettent l'expression et la circulation des opinions et des idées.

Il convient de remarquer qu'Ernest Mouchez n'est pas à l'écart de la sphère politique lorsque le second Empire s'effondre et que la III^e République se met en place. Lors de la guerre avec la Prusse, Mouchez commande une corvette à roue, le *Catinat*, dans la Manche. Il critique vertement les choix du commandement militaire et s'en prend au gouvernement impérial qu'il juge incapable^[72]. Pendant l'avancée des troupes prussiennes, Gambetta, alors ministre de la

Guerre nomme Mouchez « *commandant supérieur des troupes de terre et de mer du Havre* »^[73]. Le futur directeur de l'Observatoire de Paris côtoie alors, dans le port normand, Félix Faure et Sadi-Carnot^[74]. Mouchez a donc tissé des liens d'estime et de reconnaissance avec de futurs dirigeants du régime républicain. Il est même tenté de participer activement à la vie politique, mais sa candidature aux élections législatives de 1871 est un échec^[75]. Sans parler d'un engagement républicain pour Ernest Mouchez, il est important de souligner sa proximité avec les milieux politiques du nouveau régime. Il n'est donc pas surprenant de retrouver, dans l'organisation de la Carte du Ciel, des éléments empruntés à la réorganisation politique en cours.

La cartographie céleste telle qu'elle est entreprise sous l'impulsion d'Ernest Mouchez, est marquée par le mode de fonctionnement politique français, républicain et libéral, qui émerge après la défaite de Sedan. Dans le cas de la sphère politique comme dans celui de la sphère scientifique, la recherche du consensus passe par la mise en place de règles démocratiques et la possibilité d'une libre expression.

Toutefois, l'originalité du projet de la Carte du Ciel réside moins dans la convergence des formes d'organisation politiques et scientifiques, que dans la volonté de la communauté savante française de diffuser à l'échelle du monde les nouveaux principes de gouvernement, mis en place par le régime républicain. La Carte du Ciel constitue de ce point de vue, pour la France, une expérience matricielle dans la propagation d'un modèle d'administration et d'organisation de la recherche.

Références

- [1] *Conférence astrophotographique internationale de juillet 1908*, Circulaire n° 8, Paris, Gauthiers-Villars, 1901, p. 3.
- [2] *Ibidem*, p. 4.
- [3] Archives Municipales de Toulouse (AMT), 2R 107, Lettre d'Ernest Mouchez à Benjamin Baillaud, 8 juin 1888.
- [4] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. I, Paris, Gauthiers-Villars, 1892, p. 286.
- [5] *Ibidem*, p. 286.
- [6] *Ibidem*, p. 216.

- [7] Ernest Mouchez, *La photographie astronomique à l'Observatoire de Paris et la Carte du Ciel*, Paris : Gauthier-Villars, 1887, p. 54.
- [8] *Ibidem*, p. 53.
- [9] *Ibidem*, p. 41.
- [10] *Ibidem*, p. 41.
- [11] *Ibidem*, p. 42.
- [12] *Ibidem*, p. 44.
- [13] *Ibidem*, p. 44.
- [14] *Ibidem*, p. 48.
- [15] *Ibidem*, p. 48.
- [16] *Congrès astrophotographique international, tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Institut de France, Académie des Sciences, Paris : Gauthiers-Villars, 1897, 104 p.
- [17] Archives de l'Observatoire de Paris (AOP), Ms 106-V-A-1, Lettre de Robert Ellery à Ernest Mouchez, 8 août 1891.
- [18] Charles Trépied, *Commentaires des décisions prises par les Conférences internationales qui se réunirent à l'Observatoire de Paris en 1887, 1889 et 1891, pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthiers-Villars, 1892, p. 7.
- [19] *Ibidem*, p. 43.
- [20] Simon Schaffer, « Astronomer's Mark Time : Discipline and the Personnal Equation », *Science in context*, vol. 2, n° 1, 1988, pp. 115-145.
- [21] Benjamin Baillaud, Jules Baillaud, « Sur une erreur systématique à craindre dans l'emploi des échelles de grandeurs photographiques stellaires », *Mémoires de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, 9^e série, T. VII, 1906, p. 329.
- [22] Jules Baillaud, « L'entreprise de la Carte du Ciel. Son organisation, son état actuel, son avenir », *Revue scientifique*, n° 21, 9 novembre 1929, p. 644.
- [23] AOP, Ms 1060 V, Lettre de Benjamin Baillaud à Ernest Mouchez, 11 septembre 1891.
- [24] AMT, 2R 95, Henry Andoyer, Rapport pour l'année 1891.
- [25] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. II, Paris, Gauthier-Villars, 1895, p. 344.
- [26] Joseph O'Connell, « Metrology : The Creation of Universality by the Circulation of Particulars », *Social Studies of Science*, vol. 23, 1993, pp. 129-173. Voir également : Alexandre Mallard, « Compare, Standardize and Settle Agreement : On Some Usual Metrological Problems », *Social Studies of Science*, vol. 28, 1998, pp. 571-601.
- [27] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. I, Paris, Gauthier-Villars, 1892, p. 290.

- [28] Charles Trépied, *Commentaires des décisions prises par les Conférences internationales qui se réunirent à l'Observatoire de Paris en 1887, 1889 et 1891, pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthiers-Villars, 1892, p. 40.
- [29] *Ibidem*, p. 40.
- [30] *Ibidem*, p. 40.
- [31] *Ibidem*, p. 41.
- [32] Les Conférences de la Carte du Ciel se rapprochent des congrès scientifiques qui sont, selon l'expression de François Waquet, « une "invention" du XIX^e siècle », dans une forme d'abord « nationale et généraliste ». (François Waquet, *Parler comme un livre. L'oralité et le savoir (XVI^e-XX^e siècle)*, Paris : Albin Michel, 2003, L'évolution de l'humanité, p. 115.) Anne Rasmussen remarque qu'à partir de la décennie 1850, le congrès se singularise « par rapport à des modèles anciens de rencontres scientifiques ». (Anne Rasmussen, « Jalons pour une histoire des congrès internationaux au XIX^e siècle : Régulation scientifique et propagande intellectuelle », *Relations internationales*, n° 62, été 1990, p. 122.) L'historienne souligne notamment qu'à « la communication cosmopolite d'individus amateurs – celle qui s'était largement développée au XVIII^e siècle, conformément aux pratiques en vigueur dans la "société de cour" – succède la communication professionnalisée, réunissant administrateur et gens de métier (...) selon une logique qui n'est pas celle du savant isolé »^[32] (*Ibidem*, p. 122). Voir également : Brigitte Schroeder-Gudehus « Les congrès scientifiques et la politique de coopération internationale des académies des sciences », *Relations internationales*, n° 62, été 1990, pp. 135-148.
- [33] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. I, Paris, Gauthier-Villars, 1892, p. 1.
- [34] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. II, Paris, Gauthier-Villars, 1895, p. 329.
- [35] *Ibidem*, p. 329.
- [36] *Ibidem*, p. 329.
- [37] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. I, Paris, Gauthier-Villars, 1892, p. 73.
- [38] *Ibidem*, p. 265.
- [39] *Ibidem*, p. 275.
- [40] *Ibidem*, p. 361.
- [41] *Ibidem*, p. 362.
- [42] *Ibidem*, p. 372.
- [43] *Ibidem*, p. 372.
- [44] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. II, Paris, Gauthier-Villars, 1895, p. 45.

- [45] *Ibidem*, p. 46.
- [46] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. I, Paris, Gauthier-Villars, 1892, p. 366.
- [47] *Ibidem*, p. 367.
- [48] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. II, Paris, Gauthier-Villars, 1895, p. 123.
- [49] *Ibidem*, p. 123.
- [50] *Ibidem*, p. 123.
- [51] *Ibidem*, p. 107.
- [52] *Ibidem*, p. 109.
- [53] *Ibidem*, p. 113.
- [54] *Ibidem*, p. 113.
- [55] *Ibidem*, p. 449.
- [56] *Ibidem*, p. 449.
- [57] *Ibidem*, p. 450.
- [58] *Ibidem*, p. 119.
- [59] Cette redéfinition du corpus des conventions constitue au final une activité importante des Conférences réunies après celle de 1887. Elles traduisent en actes réglementaires des ajustements pratiques. Ainsi en 1891, la première résolution précise que « *Rien n'est changé aux conditions de distance et de grandeur d'étoiles dans lesquelles ont été faites les diverses parties du Catalogue des étoiles-guides. Toutefois, lorsqu'un astronome trouvera que l'étoile-guide qui lui est fournie par le Catalogue n'est pas d'un éclat suffisant, il aura la liberté de choisir lui-même une étoile plus brillante jusqu'à 40' du centre de la plaque* ». (Charles Trépied, *Commentaires des décisions prises par les Conférences Internationales qui se réunirent à l'Observatoire de Paris en 1887, 1889 et 1891, pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1892, p. 12.)
- [60] *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, T. II, Paris, Gauthier-Villars, 1895, p. 344.
- [61] *Ibidem*, p. 344.
- [62] *Ibidem*, pp. 127-128.
- [63] Voir par exemple : Jean-Pierre Vernant, « Structure géométrique et notions politiques dans la cosmologie d'Anaximandre », *Eirene*, vol. VII, 1968, pp. 5-23.
- [64] Marcel Détéienne, « En Grèce archaïque : Géométrie, politique et société », *Annales E.S.C.*, 1965, pp. 425-441.
- [65] Mario Biagioli, « Le prince et les savants. La civilité scientifique au XVII^e siècle », *Annales E.S.C.*, 1993, n° 3-4, pp. 1417-1453.
- [66] Steven Shapin, Simon Schaffer, *Léviathan et la pompe à air. Hobbes et Boyle entre science et politique*, Paris, Édition de la Découverte, 1993, p. 343.

- [67] Jules Baillaud, « L'entreprise de la Carte du Ciel. Son organisation, son état actuel, son avenir », *Revue scientifique*, n° 21, 9 novembre 1929, p. 644.
- [68] *Ibidem*, p. 642.
- [69] Benjamin Baillaud, *Discours prononcé à la séance générale du Congrès des Sociétés Savantes, le samedi 8 avril 1899*, Paris, Imprimerie Nationale, 1899, p. 3.
- [70] AOP, Ms 1060 IV-A-2, Lettre de Louis Liard à Charles Trépied, avril 1886.
- [71] Même si la paternité de la Carte du Ciel revient à la fois à David Gill et à Ernest Mouchez, c'est ce dernier qui s'occupe de la réalisation concrète de l'entreprise. Il dirige le Bureau International Permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel et réunit à Paris les Conférences de 1887, 1889 et 1891.
- [72] Robert Mouchez, *Amiral Mouchez. Marin, Astronome et Soldat, 1821-1892*, Paris, Éditions Cujas, 1970, p. 113.
- [73] *Ibidem*, p. 115.
- [74] *Ibidem*, p. 115.
- [75] *Ibidem*, p. 152.

Chapitre 3

L'OPÉRATION DE LA CARTE DU CIEL DANS LES CONTEXTES INSTITUTIONNEL ET TECHNIQUE DE L'ASTRONOMIE FRANÇAISE À LA FIN DU XIX^e SIÈCLE

Françoise LE GUET TULLY

(Université Nice Sophia-Antipolis, Observatoire de la Côte-d'Azur, Nice)

Jérôme DE LA NOË

(Université Bordeaux 1-CNRS, OASU/LAB, Floirac)

Hamid SADSAOUD

(Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, Alger)

Lors du lancement de l'opération de la Carte du Ciel, l'astronomie institutionnelle française est en pleine mutation. De nouveaux observatoires sont créés, d'autres sont réorganisés, des instruments modernes les équiperont ou vont les équiper, tandis que de jeunes astronomes sont formés. Nous proposons dans ce chapitre à la fois d'examiner le contexte institutionnel mouvementé dans lequel l'opération de la Carte du Ciel surgit et d'établir une sorte d'état des lieux des observatoires susceptibles d'y participer. Puis nous indiquerons les modalités de l'implication de trois des observatoires de province dans l'opération.

L'astronomie française dans les années 1880

Créé en 1667 sous le règne de Louis XIV à l'initiative de Jean-Baptiste Colbert (1619-1683), l'Observatoire de Paris devint en 1793 *Observatoire de la République* avant de passer en 1795 sous la tutelle du Bureau des longitudes. Bien qu'il ait « *dans son attribution (...) tous les instruments de l'astronomie* » et que lui incombent la responsabilité d'indiquer « *le nombre des Observatoires à conserver ou à établir au service de la République* »^[1], faute sans doute de réformes suffisamment élaborées et de moyens financiers assurés, le Bureau ne fut pas en mesure de mener une politique astronomique au plan national et consacra l'essentiel de ses activités à l'Observatoire de Paris. Ces bouleversements révolutionnaires eurent des conséquences durablement néfastes sur l'astronomie institutionnelle française. Ainsi un demi-siècle plus tard, la plupart des établissements en activité à la fin du XVIII^e siècle avaient plus ou moins disparu. Quant à l'Observatoire de Paris lui-même, son administration avait été si défectueuse que, distancé progressivement par l'observatoire de Greenwich, puis à partir de la fin des années 1830 par celui de Poulkovo, il cessa de pouvoir prétendre au statut d'un observatoire de « *première classe* »^[2].

Le temps de Le Verrier et les difficultés institutionnelles

C'est dans ce contexte institutionnel relativement délétère qu'en 1846 Urbain Le Verrier (1811-1877) devint mondialement célèbre avec la découverte « *au bout de sa plume* » de la huitième planète du système solaire. Décidé à la fois à éclipser son maître François Arago (1786-1853) et à remédier lui-même aux maux de l'astronomie française, Le Verrier gagna la confiance du futur empereur qui, en 1854, lui remit la direction de l'Observatoire de Paris et l'année suivante accéda à sa demande de création d'un poste pour Léon Foucault (1819-1868) (Tab. 3.1^[3]). Réussissant à dépouiller le Bureau des longitudes de la plupart de ses attributions et le réduisant à peu près à un bureau calculatoire, Le Verrier dirigea d'une main de fer l'établissement pendant seize ans – tout en ne cessant jamais de poursuivre magistralement ses travaux personnels. Ce faisant il provoqua une scission grave et durable avec ses collègues du Bureau et ne résolut aucun des problèmes structurels de l'Observatoire de Paris et de l'astronomie française. Suite aux requêtes formulées sans relâche par nombre d'astronomes dès les années 1860, nombre de textes furent adoptés pour tenter d'apporter des remèdes aux dysfonctionnements de l'astronomie française (Tab. 3.2^[4]). Les ministres de l'Instruction Publique de Napoléon III ne furent cependant pas en

mesure d'imposer à Le Verrier la mise en œuvre de réformes devenues pourtant de plus en plus nécessaires et cette période conflictuelle ne prit fin qu'avec la destitution en février 1870 du directeur de l'observatoire impérial.

Tableau 3.1. *Textes adoptés à la demande de Le Verrier.*

1854	décret séparant l'Observatoire de Paris et le Bureau des longitudes
1855	décret créant une place de physicien destinée à Léon Foucault
1856	décret créant à Alger une succursale de l'Observatoire de Paris

Tableau 3.2. *Suite des textes adoptés durant la première direction de Le Verrier et autres décisions ou événements importants (ces derniers en italique).*

1861	décret rattachant la station d'Alger au Gouverneur général (en lieu et place du ministre de l'Instruction Publique)
1862	décret de réorganisation du Bureau des longitudes
1862	décret augmentant le nombre d'astronomes à l'Observatoire de Paris
1862	arrêté créant les aides-astronomes
1863	<i>création par Le Verrier d'une annexe de l'Observatoire de Paris à Marseille en lieu et place de l'observatoire de la montée des Accoules</i>
1868	décret réorganisant l'Observatoire de Paris
1868	règlement des séances du Conseil de l'Observatoire de Paris
1869	arrêté modifiant le règlement des séances du Conseil
1870	<i>destitution de Le Verrier</i>

Le successeur de Le Verrier, Charles Delaunay (1814-1872), se lança quant à lui dans une politique de réformes – interrompue brutalement par sa mort accidentelle en août 1872. On lui doit notamment la création de l'observatoire central météorologique de Montsouris – ce en quoi il prit le contre-pied de la position de Le Verrier qui souhaitait conserver la météorologie au sein de l'Observatoire de Paris –, l'indépendance de l'observatoire de Marseille vis-à-vis de la tutelle parisienne et les prémices du renouveau de l'observatoire de Toulouse (Tab. 3.3^[5]).

Tableau 3.3. *Textes adoptés durant la direction de Delaunay.*

1871	décret créant un observatoire météorologique au Puy-de-Dôme
1872	décret organique relatif à l'Observatoire de Paris et à l'observatoire de Marseille
1872	décret créant l'observatoire central météorologique de Montsouris
1872	décret d'organisation de l'observatoire de Toulouse

À la disparition de Delaunay, la communauté astronomique française traversa une nouvelle période de flottements et d'incertitudes^[6] au terme de laquelle le directeur fraîchement destitué fut à nouveau nommé à la tête de l'Observatoire de Paris. Si en 1873 le ministre eut recours au même directeur que celui qu'avait mis en place Napoléon III en 1854, les contextes politique et scientifique des deux règnes Le Verrier étaient cependant radicalement différents. Depuis la révocation de ce dernier – qui précéda de peu la défaite de Sedan et la chute du second Empire –, de nombreux astronomes déçus, sinon révoltés, par les années de dirigisme qu'ils avaient vécu à l'Observatoire de Paris, s'étaient empressés d'œuvrer à la réforme de leurs propres institutions. Ainsi la réorganisation des deux observatoires de province existants – ceux de Marseille et de Toulouse –, fut-elle décidée durant le court interrègne de Delaunay. Et ce fut sous la pression de ces mêmes astronomes, et non plus à la demande de Le Verrier, que la nouvelle classe politique au pouvoir prit dès 1873 décret sur décret pour réorganiser l'astronomie (Tab. 3.4^[7]). Si certains des textes adoptés durant cette période ne furent pas appliqués avec beaucoup d'empressement par l'ancien nouveau directeur, ils constituèrent cependant le solide substrat des grandes mutations qu'à la mort de ce dernier ses successeurs eurent à cœur de mettre en œuvre^[8].

Tableau 3.4. *Textes adoptés durant la seconde direction de Le Verrier.*

1873	décret relatif aux observatoires de l'État
1873	décret relatif aux observations météorologiques et à l'observatoire de Montsouris
1873	décret intégrant l'observatoire d'Alger dans les observatoires de l'État
1874	décret de réorganisation du Bureau des longitudes
1874	règlement concernant les fonctionnaires de l'Observatoire de Paris
1875	décret créant un observatoire d'astronomie physique (pour Jules Janssen)
1876	décret de création d'une chaire d'astronomie physique à Bordeaux
1876	décret relatif aux marchés de construction d'instruments
1876	décrets créant une chaire d'astronomie physique à Lyon
1877	décret relatif à la nature des travaux des membres adjoints du Bureau des longitudes
1877	<i>mort de Le Verrier</i>

Réorganisation et décentralisation (1878-1879)

Pour régler la difficile succession de Le Verrier, le ministre de l'Instruction Publique décida en mai 1878 de placer à la tête de l'établissement national une équipe de direction bicéphale composée d'un directeur non astronome et

d'un sous-directeur astronome. Le premier est un savant respecté de 57 ans, le contre-amiral Ernest Mouchez (1821-1892), hydrographe, membre du Bureau des longitudes depuis 1873 et académicien depuis 1875. Le second est un astronome réputé de 45 ans : Maurice Loewy (1833-1907), né et formé à Vienne, recruté à l'Observatoire de Paris en 1861, naturalisé français en 1869, membre du Bureau depuis 1872 et académicien depuis 1873.

Mouchez tenta avec talent et doigté d'administrer l'Observatoire de Paris, lieu de discordes ravageuses depuis vingt-cinq ans, tandis que Loewy, par ailleurs responsable du service méridien, s'attela à la réforme de l'astronomie française et fit aboutir les mesures de décentralisation souhaitées depuis des années par la majorité des astronomes.

L'Observatoire de Paris, le Bureau des longitudes et le ministre œuvrant enfin de concert, moins de deux ans après la mort de Le Verrier, l'ensemble des textes qui continuent peu ou prou à régir aujourd'hui l'astronomie française était adopté (Tab. 3.5^[9]).

Tableau 3.5. Principaux textes adoptés par Agénor Bardoux (1829-1897) et Jules Ferry (1832-1893) en 1878 et 1879.

1878	février	décret de réorganisation des observatoires d'État
1878	mars	décrets de création des observatoires de Besançon, Bordeaux, Lyon
1878	mai	décret d'organisation d'un Bureau Central de Météorologie indépendant de l'Observatoire de Paris
1879	février	le mécène Raphaël Bischoffsheim (1825-1906) propose à Loewy la création d'un nouvel observatoire (futur observatoire de Nice ^[10])
1879	avril	loi relative à l'observatoire d'astrophysique de Meudon
1879	oct.	arrêté pour la création d'élèves astronomes à l'Observatoire de Paris
1879	nov.	arrêté pour la création d'un Comité consultatif des observatoires de province

Le dernier d'entre eux – création d'un *Comité consultatif des observatoires de province* – non seulement complète l'édifice réglementaire patiemment mis en place en vue de la décentralisation de l'astronomie, mais témoigne de l'importance accordée par le ministère de l'Instruction Publique aux affaires de l'astronomie en général et de l'astronomie provinciale en particulier. En effet cette instance nouvelle, très rapidement mise en place, est présidée par le ministre lui-même^[11]. En faisaient partie cinq savants académiciens issus du monde de l'astronomie : Mouchez et Loewy – le duo à la tête de l'Observatoire de Paris –, ainsi qu'Hervé Faye (1814-1902), Jules Janssen (1824-1907) et Félix Tisserand

(1845-1896), tous également membres du Bureau des longitudes. En étaient également membres Marcelin Berthelot (1827-1907), académicien et, comme Faye, inspecteur général de l'enseignement supérieur, ainsi que deux représentants de la division de l'enseignement supérieur du ministère, Albert Dumont et Edouard Goepp.

Les débuts de la « régénération » de l'astronomie provinciale (1880-1881)

Dès le 3 avril 1880, Loewy présenta au ministre de l'Instruction Publique un premier rapport issu des travaux du nouveau Comité, rapport qui débute ainsi :

« Les dix dernières années qui viennent de s'écouler marqueront tout particulièrement dans l'histoire de l'astronomie française autant par les travaux accomplis que par l'impulsion imprimée à cette branche de la science. (...) Antérieurement à l'époque toute récente dont nous parlons, le mouvement scientifique était concentré à Paris, et la culture de l'astronomie appartenait exclusivement à un très petit nombre de savants de la capitale, attachés pour la plupart à l'Observatoire. Cette centralisation excessive ne pouvait être que défavorable au développement des études astronomiques ; aussi, si l'on compte en France pour les grandes recherches théoriques et surtout pour les investigations si élevées de la mécanique céleste, une série non interrompue d'hommes illustres (...), on constate que le nombre des observateurs marquants était fort restreint »^[12].

Ne citant jamais Le Verrier, pourtant présent en filigrane dans tout son argumentaire, Loewy expliquait que cette « *centralisation excessive* » provenait de ce que les astronomes « *se trouvaient confinés à l'Observatoire, et subordonnés à la volonté d'un seul* ». Il précisait que l'Angleterre possédait une trentaine d'observatoires, l'Amérique une vingtaine, l'Allemagne une dizaine, et l'Autriche, la Russie et l'Italie de sept à dix. Au cas où le ministre n'aurait pas saisi la malheureuse spécificité de la France, il soulignait que « *tous les progrès de l'astronomie se trouvaient subordonnés aux ressources de l'Observatoire de Paris, au savoir aussi bien qu'au caractère du savant chargé de la direction* »^[13].

Loewy rappelait aussi que depuis plusieurs années le Gouvernement « *a[vait] commencé l'importante réforme de l'organisation astronomique* » et que « *des observatoires nouveaux [avaient] été créés ou [étaient] en voie de construction, à Marseille, Lyon, Bordeaux, Toulouse, Besançon* ». Il précisait que

l'observatoire de Toulouse avait été réorganisé en 1873 et était muni des « *instruments les plus nécessaires* » et que « [c]elui de Marseille, d'abord simple succursale de Paris, a[vait] été rendu indépendant et pourvu de moyens puissants »^[14].

Puis, avant de présenter un à un chacun des observatoires en activité (Marseille et Toulouse) ou en cours de construction (Bordeaux et Lyon), Loewy indiquait que « *pour parfaire cette grande œuvre de régénération* » il restait « *à attribuer à ces établissements les ressources nécessaires pour assurer leur avenir, et à les doter des instruments de travail qui leur sont indispensables* ». Et il ajoutait à l'adresse du ministre : « *Il n'y a pas à douter que l'État ne poursuive avec décision la réorganisation si bien commencée, et dont l'achèvement comptera parmi les plus belles réformes de notre temps* »^[15]. Loewy eut raison « *de ne pas douter* » car, grâce aux efforts de l'État, en l'espace de quelques années les deux nouveaux établissements, bientôt rejoints par celui de Besançon^[16], devinrent actifs et reconnus.

En conclusion de ce premier rapport, Loewy adressa une dernière requête au ministre. Pour « *former un réseau scientifique complet* », il manque « *un observatoire dans une de nos possessions lointaines* »^[17] écrivit-il. Avec un tel établissement, ajouta-t-il, « *[l]e ciel austral n'échapperait plus à nos investigations, et nos astronomes pourraient aborder quelques-uns de ces grands problèmes fondamentaux dont la solution ne peut s'obtenir qu'avec le concours d'un observatoire situé à une latitude très différente* »^[18]. Une fois encore Loewy fut entendu, car dans le rapport annuel suivant, publié au début de 1881, il écrivit au ministre : « *En décidant la création de l'observatoire d'Alger, qui, par sa position, au point de vue du climat, se trouve le plus favorisé, vous avez exaucé l'un des vœux les plus ardents du Comité consultatif relativement aux observatoires coloniaux* »^[19].

Ainsi, sous l'impulsion conjuguée de Mouchez et de Loewy associée à la volonté politique des ministres de l'Instruction Publique de la jeune III^e République, prirent forme sur le terrain les grandes mutations de l'astronomie institutionnelle française. Au fil des années 1880, celle-ci fut en effet peu à peu dotée par l'État d'un « *réseau complet* » d'observatoires composé de l'Observatoire de Paris, de l'observatoire d'astronomie physique récemment installé au château de Meudon, et de six observatoires de province (Alger, Besançon, Bordeaux, Lyon, Marseille, Toulouse).

L'harmonie désormais retrouvée entre l'Observatoire de Paris et le Bureau des longitudes permit à la politique ministérielle – activement promue par les

astronomes parisiens de ces deux instances – de devenir rapidement effective. Dans ses rapports annuels au ministre, Loewy ne manquait d'ailleurs pas de souligner l'efficacité des efforts consentis par le Gouvernement. Ainsi en 1884 expliquait-il que « *les travaux accomplis [...] sont tous basés sur un plan mûrement concerté par MM. les directeurs [...]* »^[20], que l'organisation de ce réseau savant est « *méthodique* » et que « *dans ce plan de travail général, chaque observatoire accomplit la tâche propre qui lui est départie, en tenant compte de toutes les conditions particulières où il se trouve placé* »^[21]. L'organisation de l'astronomie française doit, précisait-il, « *éviter les superfétations [...]* et *permet d'embrasser toutes les branches de l'astronomie* »^[22].

« L'astronomie expérimentale » et son « regrettable abandon »

Très concerné depuis le début de sa carrière d'astronome par tout ce qui avait trait aux observations, dans son deuxième rapport au ministre, Loewy ne se réjouit pas seulement de la création de l'observatoire d'Alger. Il souligna également que « *[l]'astronomie expérimentale, grâce à la sollicitude des pouvoirs publics, (...) commen[çait] à sortir du regrettable abandon où elle avait été laissée depuis le début du siècle* »^[23]. Dans quel état Mouchez et lui trouvèrent-ils donc l'instrumentation astronomique ?

La douloureuse question des grands instruments à l'Observatoire de Paris en 1880

Lorsque Loewy utilisa l'expression « *regrettable abandon* » à propos de l'astronomie observationnelle, l'Observatoire de Paris ne disposait que d'un seul instrument digne d'un observatoire de « *première classe* », et encore depuis peu : le magnifique cercle méridien réversible Eichens installé en 1877 dans le jardin de l'Observatoire de Paris. Il convient d'ailleurs de souligner que l'instrument avait été financé non par l'État, mais grâce à la générosité du mécène et fils de banquier Raphaël Bischoffsheim (1825-1906). Pour ce qui est des autres instruments méridiens, Le Verrier avait bien fait installer en 1863 le grand cercle méridien Secrétan – « *plus grand que celui de Greenwich* »^[24] –, mais celui-ci avait le grave défaut de ne pas être à retournement^[25].

En ce qui concerne les instruments à monture équatoriale, malgré d'ambitieux projets, la situation parisienne laissait encore plus à désirer. Si le grand télescope de 1,20 m, commencé par Léon Foucault (1819-1868), fut finalement installé en octobre 1875 dans le jardin de l'Observatoire de Paris, il ne fut pas et ne deviendra

jamais l'« *égal du magnifique télescope de Melbourne* » annoncé par l'auteur d'un article non signé paru dans *La Nature*^[26]. Dans son premier *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris* de 1879, Mouchez soulignait sobrement que « [l]a partie optique laiss[ait] un peu à désirer »^[27] et, à partir de 1883, il ne mentionnera plus l'instrument. Ce télescope porteur de grands espoirs au pays de Foucault, l'inventeur des télescopes modernes, tomba donc rapidement dans l'oubli^[28].

Quant à la « *lunette gigantesque* » de 75 cm d'ouverture et 16 m de long, bien qu'en projet depuis 1855, elle ne fut jamais installée. Dans son *Rapport annuel pour 1883*, Mouchez expliqua que « [l]es fouilles faites dans les terrains nouvellement annexés à l'Observatoire et l'examen des galeries des carrières et des catacombes qu'on a rencontrées, surtout au-dessous de l'emplacement où l'on pouvait mettre la grande lunette, ont constaté l'existence de trop nombreuses excavations pour qu'il fût possible d'y construire une lourde tour de 22 m de diamètre, sans des travaux de consolidation fort dispendieux »^[29]. Après trois ans de nouvelles péripéties, cette lunette dont la construction semble-t-il était très avancée fut finalement cédée à l'observatoire de Meudon^[30].

Les instruments en fonction à l'Observatoire de Paris en 1880

À défaut d'un grand télescope et d'une grande lunette dignes d'un observatoire de « *première classe* », l'Observatoire de Paris ne disposait au début des années 1880 que de quatre instruments équatoriaux de dimensions modestes :

- les équatoriaux dits du jardin, de 24 cm de diamètre, utilisés par les frères Paul Henry (1848-1905) et Prosper Henry (1849-1903) pour l'Atlas écliptique, le dessin des planètes, l'observation des petites planètes et des comètes et la mise au point de l'appareil destiné à l'étude des flexions de Loewy ;

- l'équatorial de la tour de l'ouest, de 31 cm de diamètre, remis en état en 1879, utilisé depuis par Guillaume Bigourdan (1851-1932), élève de Félix Tisserand, pour l'observation des satellites des planètes, les occultations, les comètes, ou les étoiles doubles (son objectif d'origine fut remplacé en 1884) ;

- l'équatorial de la tour de l'est, de 38 cm de diamètre, installé par Arago et laissé à l'abandon depuis des décennies qui fut, dès 1880, remis en état par les Brunner^[31].

L'objectif original défectueux de cet équatorial de 38 cm fut remplacé en 1882 par « *un objectif de 14 pouces construit par [les frères Henry] et qui leur*

appartient »^[32]. Puis, en 1883, Mouchez fit remplacer le tube en bois d'origine par un tube métallique et équipa le mouvement d'horlogerie d'un régulateur de Foucault. De sorte que l'équatorial de 38 cm de la tour de l'est, rénové et placé entre les mains des frères Henry, devint de fait le « *grand équatorial* » de l'Observatoire de Paris – l'année même où la construction de la lunette de 75 cm fut abandonnée et où le télescope de 120 cm tomba dans l'oubli.

Ainsi au début des années 1880, à l'exception du cercle méridien du jardin offert par Bischoffsheim, tous les instruments en fonction à l'Observatoire de Paris étaient à l'évidence de facture ancienne et de bien petites dimensions^[33]. Aussi l'expression « *regrettable abandon* » employée par Loewy dans son rapport au ministre était-elle tout à fait justifiée.

Loewy et l'innovation instrumentale : la construction des lunettes équatoriales coudées

Depuis la fin des années 1860, Loewy lui-même était activement impliqué dans le renouvellement de l'instrumentation astronomique. La première lunette équatoriale coudée – dont il publia le principe dès 1871^[34] – vit enfin le jour en 1882. Programmée par Delaunay mais abandonnée à la mort de celui-ci, la construction d'un prototype de 27 cm de diamètre fut reprise après la mort de Le Verrier grâce une fois encore au soutien financier du mécène Bischoffsheim. Testée tout au long de l'année 1883, cette lunette fut la première d'une série de sept. Trois d'entre elles équipèrent rapidement des observatoires de province en cours de création^[35]. Puis, à la suite d'une rencontre entre Loewy et Albert von Rothschild (1844-1911) – banquier et mécène autrichien –, une autre lunette équatoriale coudée fut commandée en 1885 et installée en 1890 à l'observatoire de Vienne. La plus grande – 60 cm de diamètre et 18 m de focale –, commandée en 1886, l'année même où David Gill (1843-1914) proposait à Mouchez l'idée d'une conférence internationale pour la Carte du Ciel, fut mise en place à l'Observatoire de Paris en 1891. Elle servit notamment à la réalisation du fameux Atlas photographique de la Lune^[36] réalisé par Loewy et son jeune collègue Pierre Puiseux (1855-1928) et devint de fait le grand instrument prestigieux et performant qui faisait si cruellement défaut à l'établissement. Enfin, une septième lunette coudée, de dimension plus modeste que celle de Paris, compléta en 1892 l'ensemble instrumental du nouvel observatoire fondé à Nice par Bischoffsheim^[37].

Les observatoires de province dans les années 1880 : organisation et instruments

En 1881, l'astronomie française se trouvait à l'aube d'une décennie décentralisatrice au cours de laquelle le parc des instruments astronomiques fut augmenté et modernisé grâce à la construction non seulement des lunettes coudées de Loewy, mais aussi d'équatoriaux droits et de grands cercles méridiens. Au début de cette période de grandes métamorphoses, seuls les observatoires de province de Marseille et de Toulouse étaient en état de produire des résultats astronomiques. Dans son rapport au ministre pour 1880, Loewy tint d'ailleurs à justifier l'absence de résultats en provenance des autres observatoires. « [L]'œuvre de relèvement ne dépend pas uniquement des ressources matérielles » expliqua-t-il, ajoutant qu'« elle exige le concours d'un personnel habile qui ne pourra se former qu'à la suite d'une longue expérience »^[38] et prévenant aussitôt qu'il « faudra en outre encore quelques années pour l'achèvement et la construction des observatoires et des instruments »^[39]. Quelle était donc précisément la situation de « l'astronomie expérimentale » dans les observatoires de province ?

Les observatoires de Marseille et de Toulouse

Le premier observatoire de Marseille, installé en 1702 à la montée des Accoules dans un couvent de jésuites, fut déplacé en 1863 par Le Verrier au plateau Longchamp afin d'accueillir le télescope à miroir en verre de 80 cm terminé à Paris par Foucault en 1862. Annexe de l'Observatoire de Paris à ses débuts, l'observatoire du plateau Longchamp acquit son autonomie en 1872. La même année y fut installée une lunette équatoriale Merz-Eichens de 26 cm de diamètre, commandée par Le Verrier, en complément du télescope de Foucault et destinée aux travaux de routine. Au début des années 1880, l'établissement dispose également d'un grand cercle méridien de 18 cm dû à Eichens (installé en 1877) et d'un chercheur de comètes de 18 cm de diamètre^[40]. Le directeur Edouard Stephan (1837-1923) – normalien entré à l'Observatoire de Paris en 1862 – et ses collègues sont donc, depuis des années, actifs dans le domaine des « recherches exploratives au télescope, à l'équatorial et au chercheur », et depuis déjà trois ans dans celui des observations méridiennes. Comme le précisait Loewy, les astronomes de cet observatoire « indépendant et pourvu de moyens puissants » contribuaient activement année après année aux « observations précises des astres nouvellement découverts tant à l'observatoire de Marseille qu'ailleurs »^[41].

Le second observatoire de province existant au temps de Le Verrier est celui de Toulouse. Installé sur le site de Jolimont depuis 1846 mais peu actif, il fut réorganisé en 1873 et Tisserand en devint alors à 27 ans le très jeune directeur^[42]. Appelé en 1878 à une brillante carrière parisienne, Tisserand céda alors son poste à Benjamin Baillaud (1848-1934), normalien et formé à l'Observatoire de Paris comme lui. Les deux jeunes astronomes formés par Tisserand^[43] ayant aussi quitté Toulouse, Baillaud dut à son arrivée faire face à la fois à une pénurie de personnel et à un déficit d'instruments. Dans son rapport de 1879, Loewy en fit discrètement le constat : « *seules les observations accidentelles sont possibles, en raison de l'imperfection des instruments* »^[44]. Le miroir de 83 cm du télescope de type Foucault installé en 1875 n'avait en effet pas été réargenté récemment, le télescope de Foucault de 33 cm était dépourvu de monture équatoriale et l'ancienne lunette des passages Ramsden avait la réputation d'être très instable.

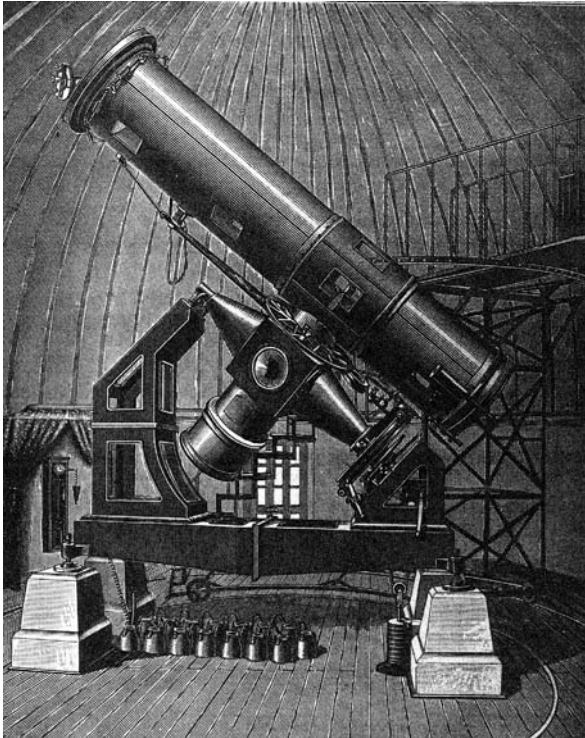


Figure 3.1. Télescope de 80 cm de l'observatoire de Toulouse.

Restait donc un seul instrument en état de marche – un chercheur de comètes et de planètes système Villارceau, qui ne permettait évidemment d'observer que dans le plan de l'écliptique.

L'écart instrumental entre les deux « anciens » observatoires de province fut cependant partiellement réduit dès 1880 avec la remise en état de marche du grand télescope de l'observatoire de Toulouse et l'installation du premier instrument moderne – une lunette équatoriale de 25 cm de diamètre due aux frères Brunner. Mais il fallut attendre dix ans de plus pour que Toulouse dispose, comme Marseille, d'un grand cercle méridien (Fig. 3.2) – alors que la salle destinée à l'abriter était terminée depuis 1883.

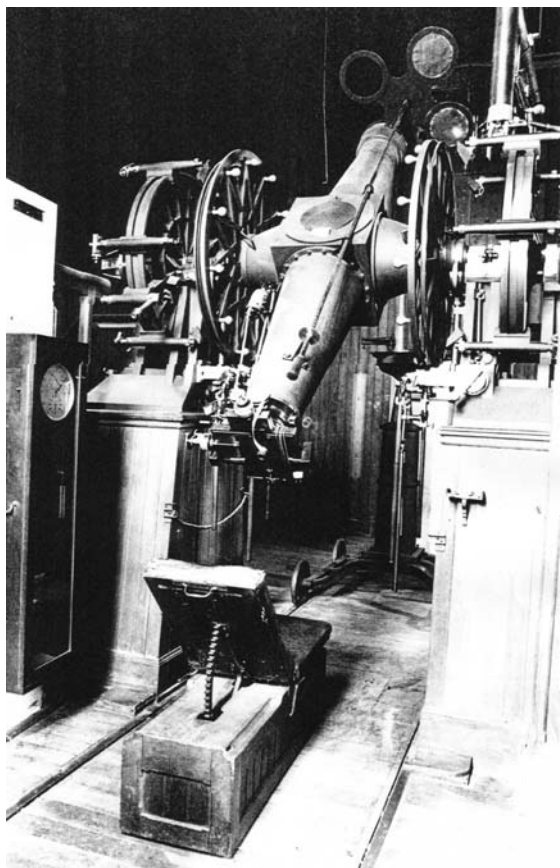


Figure 3.2. Cercle méridien de Paul Gautier de l'observatoire de Toulouse.

Les observatoires de Besançon, Lyon et Bordeaux

Trois nouveaux observatoires de province furent créés par décret du Président de la République le 11 mars 1878, tout juste dix-huit jours après l'adoption de l'important décret « *portant organisation des Observatoires ressortissant au Ministère de l'Instruction Publique* ».

La création d'un observatoire chronométrique à Besançon était ardemment souhaitée depuis le début des années 1870 par les horlogers de Franche-Comté, soumis à la concurrence de la Suisse et à celle plus récente de l'Amérique du Nord^[45]. En 1877, le Conseil municipal se prononça en faveur de la création d'un observatoire, engagement préalable indispensable à l'engagement de l'État. Louis Saint-Loup (1831-1913), normalien ayant soutenu sa thèse sur le calcul des perturbations du mouvement des planètes et professeur de mathématiques à la Faculté de Besançon depuis 1872, fut nommé directeur du nouvel observatoire « *astronomique, météorologique et chronométrique* ». Mais il n'était ni astronome, ni intéressé par l'astronomie. Aussi fut-il remplacé en 1881 par Jules Gruey (1837-1902), lui aussi normalien, mais formé à l'Observatoire de Paris de 1865 à 1868^[46]. Ce faux départ retarda la construction de l'observatoire de sorte que le premier grand instrument – un cercle méridien de 19 cm d'ouverture – fut installé seulement en 1885, et le second – une lunette équatoriale coudée de 34 cm – en 1888.

Le contexte de la création de l'observatoire « *astronomique et météorologique* » de Lyon à Saint-Genis Laval^[47] diffère notablement de celui de Besançon dans la mesure où, à la demande du Conseil général du département du Rhône, la priorité fut donnée au départ à la météorologie. Bien que Charles André (1842-1912), normalien entré à l'Observatoire de Paris en 1865, n'ait été nommé directeur de l'observatoire de Lyon qu'en janvier 1879, les préparatifs allèrent bon train dès sa nomination en 1877 à la chaire d'astronomie créée l'année précédente à la Faculté des Sciences de Lyon. L'observatoire de Lyon fut d'ailleurs le second observatoire de province après celui de Marseille à être équipé d'un grand cercle méridien. Financé comme celui de Paris grâce au soutien du mécène Bischoffsheim, l'instrument commandé à Eichens^[48] fut en effet installé dès 1879. Le nouvel établissement s'enrichit l'année suivante d'une petite lunette équatoriale Brunner de 18 cm de diamètre, et en 1887 d'une lunette équatoriale coudée de Loewy de 33 cm de diamètre^[49]. Cependant, pour diverses raisons – dont la priorité accordée à la météorologie et le climat – les premiers travaux astronomiques tardèrent à y être réalisés.

Les contextes de la création des observatoires de Bordeaux et de Lyon ont un point commun : lorsque le décret fut pris en mars 1878, un jeune astronome portait déjà le projet depuis plusieurs années. Il s'agissait à Bordeaux de Georges Rayet (1839-1906), normalien entré à l'Observatoire de Paris en 1863, un an après Stephan et deux ans avant ses collègues de Lyon et de Besançon, André et Gruey. La situation de Bordeaux (Fig. 3.3) diffère cependant beaucoup de celle de Lyon.

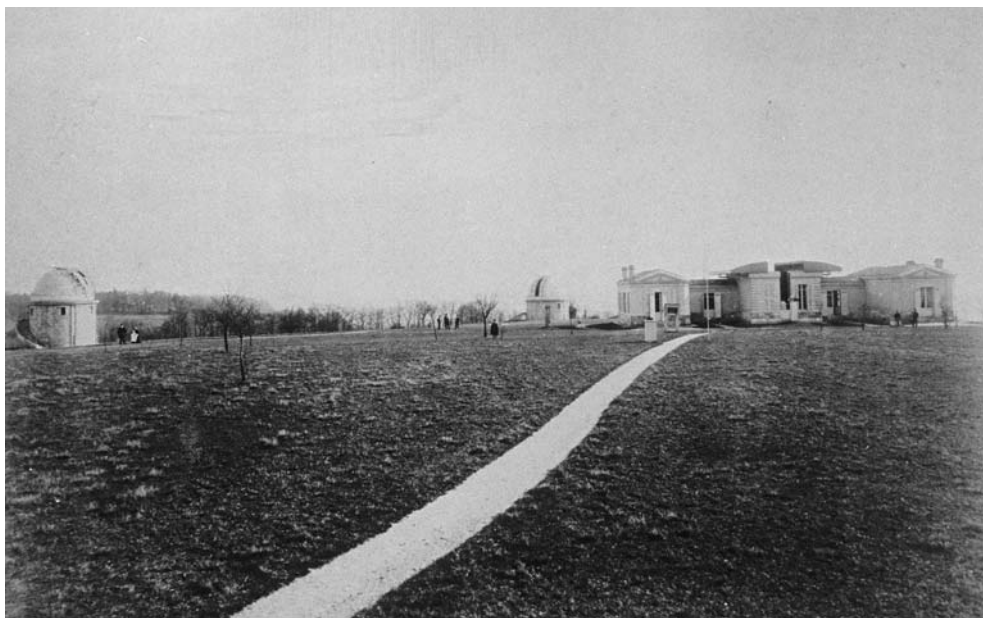


Figure 3.3. Vue générale de l'observatoire de Bordeaux à la fin du XIX^e siècle.

Tout d'abord, parce que, natif de Bordeaux, Rayet était porteur à la fois d'ambitions scientifiques et d'ambitions bordelaises. En conflit avec Le Verrier depuis la fin des années 1860 et contraint pour cette raison de quitter Paris en 1874, Rayet avait dès lors consacré tous ses efforts à faire aboutir le projet de création d'un observatoire dans sa ville natale. Par ailleurs, à la différence de la situation lyonnaise, il existait à Bordeaux une chaire d'astronomie et de mécanique rationnelle depuis une quarantaine d'années. De plus, la ville de Bordeaux avait dès 1866^[50] manifesté son désir de voir ériger un observatoire comparable à celui de Marseille. Aussi, lorsqu'en 1871 Jules Simon (1814-1896), normalien philosophe, républicain avéré^[51] et ministre de l'Instruction Publique du gouvernement provisoire, sollicita un certain nombre de villes en vue de décentraliser l'astronomie, la municipalité du grand port atlantique accepta de fournir une somme annuelle de 10 000 francs « *pour couvrir la moitié des dépenses* » d'un nouvel observatoire^[52].

C'est dans ce contexte particulier qu'à partir de 1875 Rayet, républicain bon teint comme son ministre, se dépensa sans compter pour obtenir d'une part la création d'une chaire d'astronomie physique dont il devint titulaire en octobre 1876, et d'autre part les engagements financiers conjoints de la municipalité et de l'État en vue de la construction du nouvel observatoire^[53]. Fin 1877,

sur les conseils de Rayet et de deux de ses collègues, le site de Floirac fut acquis par l'État et une commission nommée pour l'installation et l'organisation du futur observatoire – anticipant ainsi de quelques mois le décret de création de mars 1878. Dès l'automne de la même année, Rayet, qui ne deviendra officiellement directeur qu'en janvier 1879, fit un voyage dans les observatoires allemands et commanda chez Merz, à Munich, l'objectif de 38 cm de diamètre destiné à sa future grande lunette équatoriale – instrument phare du nouvel observatoire.

Grâce à l'expérience, à la ténacité et aux ambitions scientifiques de l'astronome et physicien Rayet, les instruments du nouvel observatoire de Bordeaux purent être commandés et installés en un laps de temps remarquablement court : le cercle méridien Eichens de 19 cm (Fig. 3.4) y fut livré dès 1880 et monté

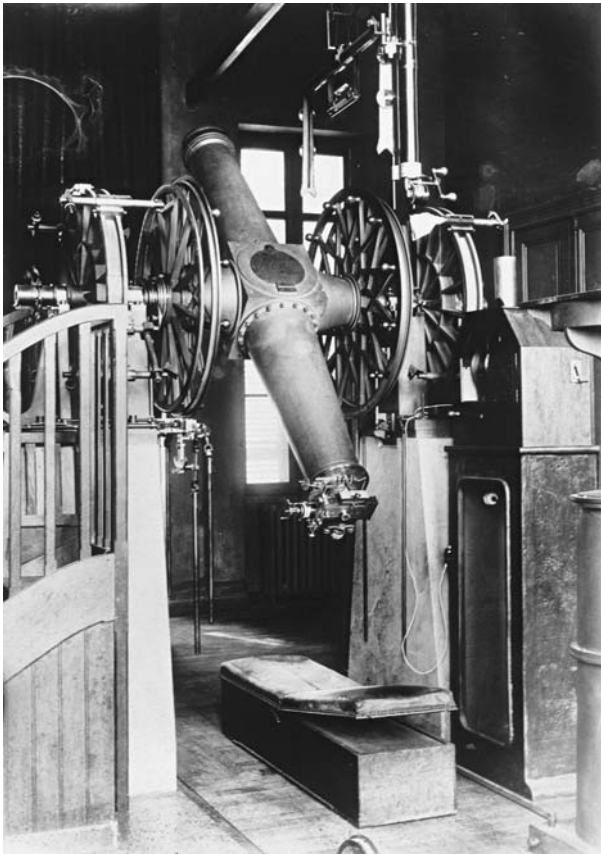


Figure 3.4. Lunette méridienne de l'observatoire de Bordeaux (fin XIX^e).

en mars 1881^[54], la lunette équatoriale Eichens-Gautier de 21 cm (Fig. 3.5) fut installée en 1882 et la Merz-Eichens de 38 cm fut inaugurée en août 1883. Il convient à ce sujet de noter que, lorsque Rayet passa commande de cet instrument au célèbre opticien allemand à la fin de 1878, il s'agissait du plus grand réfracteur français puisque celui de 38 cm commandé par Arago pour la tour de l'est à Paris ne fut en état de fonctionner qu'à partir de 1880^[55].

En conclusion de ce bref descriptif des trois observatoires créés par décret en 1878, il apparaît que celui de Bordeaux a plus de points communs avec ses frères aînés de Marseille et de Toulouse qu'avec ceux de Besançon et Lyon – tant du point de vue de l'importance et de la qualité du parc instrumental que des ambitions purement astronomiques du directeur.

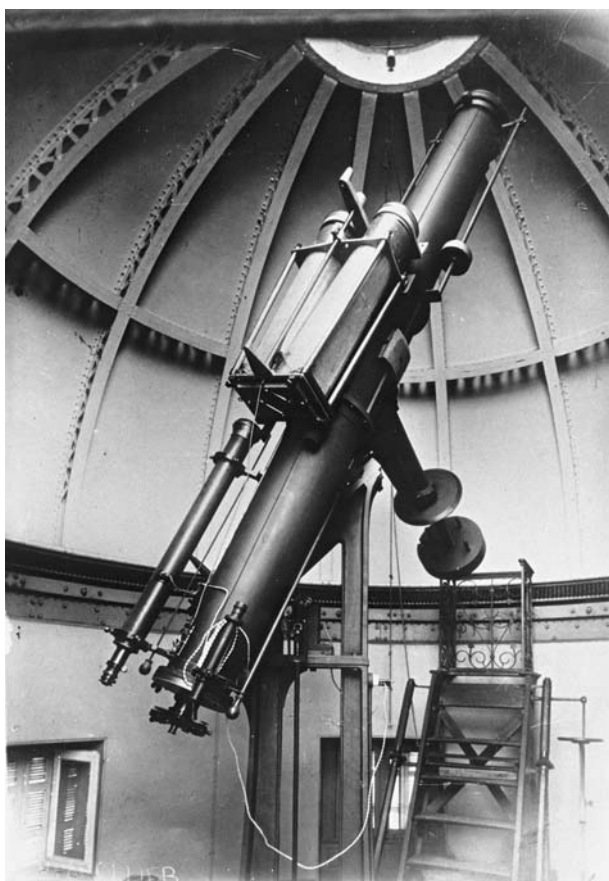


Figure 3.5. Petit équatorial de l'observatoire de Bordeaux (fin XIX^e).

L'observatoire d'Alger

À Alger, l'opération de décentralisation se déroula tout autrement^[56]. Si Le Verrier décida en 1856 de créer au lycée d'Alger une station météorologique rattachée à l'Observatoire de Paris, il s'en désintéressa rapidement. En 1858 un arrêté – probablement pris sous l'impulsion du Bureau des longitudes^[57] – y créa une « *station astronomique* » regroupant observations astronomiques, météorologiques et magnétiques. Installé dans des locaux provisoires sur la colline de la Bouzaréah, l'astronome Charles Bulard (1825- ?) y disposait dès 1859 d'un télescope de Foucault de 33 cm de diamètre, mais en 1860 le bail vint à expiration et il dut quitter les lieux. En 1861, Bulard rapporta de Paris un nouveau télescope de Foucault, de 50 cm de diamètre cette fois. Cependant, pour de multiples raisons, cet instrument exceptionnel ne fut jamais vraiment utilisé. Il fallut attendre 1873 – c'est-à-dire le début de la III^e République – pour que l'observatoire d'Alger soit doté d'un véritable statut et de moyens. Sa réorganisation ne prendra cependant effet qu'en 1880 avec la nomination – sous l'impulsion de Loewy – d'un



Figure 3.6. Plan de l'observatoire d'Alger.

nouveau directeur choisi et formé par le Bureau des longitudes, Charles Trépied (1845-1907). Le site de la Bouzaréah ne fut dévolu à l'établissement qu'en 1885, mais avant même que les bâtiments ne soient construits, Trépied y installa ses instruments de façon provisoire et reprit les observations qu'il menait auparavant dans un site loué temporairement à Kouba. Avec son unique collaborateur, l'aide-observateur Charles Rambaud (1857-1955), Trépied déploya une énergie et un talent si considérables que très rapidement l'observatoire d'Alger devint l'établissement le mieux équipé et aussi le plus actif de tous les observatoires de province (Fig. 3.6). L'établissement bénéficiant naturellement d'un climat plus favorable qu'en métropole, il fut le seul où la spectroscopie et la photographie furent pratiquées très régulièrement dès 1881.

Six observatoires en devenir

Les réorganisations structurelles entreprises par les gouvernements qui se succédèrent de 1871 à 1879 aboutirent donc à la création progressive d'un réseau provincial de six observatoires. Dans son rapport au ministre pour l'année 1885, Loewy fut pour la première fois en mesure de présenter les observatoires de Besançon et de Lyon sur le même plan que les quatre autres, jusque-là plus avancés dans leurs travaux scientifiques. Ainsi, après avoir souligné que « *partout il règne la plus grande activité* », Loewy s'estimait-il en mesure d'affirmer que « *la réforme si considérable de l'astronomie expérimentale accomplie de nos jours a[vait] porté tous ses fruits* »^[58].

Il est particulièrement intéressant d'examiner de plus près la situation de chacun des observatoires telle qu'elle est exposée dans ce rapport. En effet, rédigés quelques mois seulement avant que ne se pose la question de savoir quels observatoires des départements allaient participer à l'opération de la Carte du Ciel, les rapports des directeurs pour l'année 1885 fournissent une sorte d'état des lieux instantané de leurs établissements respectifs. Car, si les six observatoires en question sont tous régis selon les mêmes règles, ils ne sont évidemment pas sur un pied d'égalité – ne serait-ce qu'en raison de l'existence ou de l'inexistence d'un passé astronomique, de la qualité du parc instrumental, de la situation géographique... ou du nombre d'astronomes expérimentés dont chacun d'eux dispose.

État des lieux avant la Carte du Ciel

À l'observatoire d'Alger, deux astronomes en place depuis cinq ans font bon usage d'un télescope de Foucault de 50 cm à monture en bois, d'un petit

cercle méridien prêté, et de deux spectroscopes (solaire et stellaire), instruments qui viennent de quitter l'emplacement provisoire de Kouba pour être installés sur le site de la Bouzaréah où l'observatoire définitif est en cours de construction. Il est prévu d'implanter en outre sur le nouveau site trois nouveaux instruments complémentaires : un grand cercle méridien, une lunette équatoriale coudée et une lunette équatoriale droite.

À l'observatoire de Besançon, dont le personnel se compose de 4 personnes (2 astronomes, un aide-chronométrier, un assistant), les instruments en état de marche sont le cercle méridien installé en septembre 1885 et une lunette équatoriale droite de 23 cm. Un altazimut et une lunette équatoriale coudée sont commandés. L'essentiel des activités relève de la chronométrie.

À l'observatoire de Bordeaux, une équipe de 5 personnes (3 astronomes, un élève astronome et un calculateur) dispose d'un cercle méridien, d'une lunette de 38 cm et d'une autre de 22 cm. Dans le courant de 1885, Rayet acquit en outre « *une fente étroite, en acier, destinée à compléter, avec les prismes acquis en 1884, un spectroscope* »^[59]. Cependant, dans le « *plan de travaux pour 1886* », il énumère dans l'ordre « [1]a continuation de la révision des étoiles du catalogue de Argelander-Oeltzen », « [1]a réduction et la publication des observations de 1882 et 1883 » ainsi que « *les observations des comètes et des satellites de planètes ou des étoiles doubles* », et prévoit « *l'adjonction de 2 calculateurs nouveaux* »^[60].

En 1885 à l'observatoire de Lyon, l'équipe est composée de 5 personnes, dont 4 pour l'astronomie et 1 pour la météorologie. L'équipe n'est semble-t-il pas stabilisée. Si les instruments principaux sont le cercle méridien et la lunette équatoriale de 18 cm, une grande partie des activités porte sur la météorologie, le magnétisme, l'électricité atmosphérique et l'actinométrie.

Au contraire, à l'observatoire de Marseille, l'équipe est nombreuse et stable : 7 personnes dont 1 élève astronome et 2 calculateurs. Installés depuis plusieurs années déjà, les instruments – télescope, cercle méridien, lunette, chercheur de comètes – sont familiers aux astronomes qui par ailleurs sont affectés alternativement à l'un ou à l'autre. L'observatoire fait régulièrement des découvertes et a une renommée internationale.

L'observatoire de Toulouse ne dispose que de 3 personnes assistées d'un étudiant. Les instruments principaux sont un grand télescope type Foucault, une

lunette de 25 cm et un chercheur de comètes. L'année 1885 voit commencer la construction d'une monture métallique pour le télescope de 83 cm – grâce à une subvention de la ville.

Panorama comparatif : Marseille, Toulouse, Bordeaux et Lyon

S'il est évident à la lecture du rapport pour 1885 qu'il est peu probable que l'observatoire de Besançon pourra s'investir dans l'opération de cartographie du ciel à venir en raison à la fois du retard dans ses installations^[61] et de sa spécificité à composante industrielle – la chronométrie –, il est tout aussi évident que celui d'Alger sera d'emblée concerné. Tout d'abord parce que le climat de l'Algérie est particulièrement propice aux observations astronomiques de longue haleine en raison de la fréquence des nuits au ciel pur. Et aussi parce que le statut politique de ce territoire a pour conséquence une situation particulière de l'établissement qui, contrairement à ceux de la métropole, ne dépend ni d'une université, ni d'une municipalité. Les décisions l'intéressant peuvent donc être prises directement par le ministère de l'Instruction Publique, puisque seule cette instance les finance^[62]. Compte tenu de ces spécificités, il reste donc quatre établissements astronomiques de province pouvant, le moment venu, être concernés par l'opération de la Carte du Ciel : Lyon, Marseille, Toulouse et Bordeaux.

L'observatoire de Marseille, l'aîné de tous avec ses 180 années d'activités quasiment ininterrompues derrière lui, possède un équipement instrumental puissant et prestigieux – télescope de Foucault-Eichens de 80 cm, cercle méridien Henry-Eichens de 20 cm, lunette équatoriale Merz-Eichens de 26 cm – et il est autonome depuis plus de dix ans. Son directeur, Stephan, âgé de 48 ans en 1885, ancien normalien, en poste à Marseille depuis 1866 et professeur d'astronomie à la Faculté des sciences de Marseille, est célèbre dans la communauté astronomique internationale pour la découverte en 1877 d'un groupe de galaxies appelé depuis quintette de Stephan. Élu correspondant de l'Académie des sciences en 1879, à la tête d'un personnel qualifié, stable et compétent, Stephan, âgé de 48 ans en 1885 n'a « rien à prouver » dans le domaine de l'astronomie. Tout ce qu'il demande au ministre, c'est d'ailleurs que la monture en bois du fameux télescope de Foucault de 80 cm soit remplacée par une monture métallique !

L'établissement toulousain – même si lui aussi est riche d'une longue histoire – ne dispose pas des mêmes atouts que celui de Marseille. Baillaud, âgé 37 ans en 1885, ancien normalien lui aussi, n'y est en poste que depuis 1878. Les deux

jeunes astronomes formés par Tisserand entre 1873 et 1877 ayant quitté Toulouse quasiment en même temps que leur maître, tout le personnel de l'établissement a été renouvelé en l'espace de quelques mois. Ainsi, contrairement à l'observatoire de Marseille, celui de Toulouse manque de personnel expérimenté, son directeur, très enclin aux mathématiques, est lui-même encore peu expérimenté, et son instrumentation est à la fois abondante et disparate. Bien que le télescope de 83 cm de diamètre de Toulouse soit théoriquement plus puissant que celui de Marseille, il n'a ni la même aura ni les mêmes observations à son actif^[63].

Quant au directeur du plus « astronomique » des nouveaux observatoires – celui de Bordeaux – il a la particularité d'être lui-même bordelais, agrégé de physique et porteur d'ambitions scientifiques spécifiques pour lui-même et pour son établissement. Cependant, Rayet, âgé de 46 ans en 1885, semble à la recherche de sa voie et de celle de son observatoire. Il paraît en effet en perpétuelle tension entre son désir de poursuivre des travaux personnels de spectroscopie et les travaux plus routiniers et moins originaux que son observatoire effectue année après année^[64].

À Lyon, si André, âgé de 43 ans en 1885, s'intéresse beaucoup plus à la météorologie qu'à l'astronomie, c'est que le climat n'est pas très propice aux observations, et aussi que le démarrage de l'observatoire a pris du retard.

L'opération de la Carte du Ciel et l'implication des observatoires de province

Le lancement d'une opération internationale de cartographie générale du ciel dans les années 1880 semble être le fruit d'événements scientifiques et techniques concomitants, relevant autant des progrès dans la technique photographique et de l'ingéniosité optique et mécanique dans la construction d'instruments que de l'incommensurable nombre d'étoiles dans la Voie Lactée.

La cartographie du ciel : état des lieux au début des années 1880

L'introduction en 1876 de plaques de verre à émulsion sèche à la gélatine, beaucoup plus sensibles que les précédentes, et l'existence dans le même temps d'amateurs astronomes éclairés tels que l'ingénieur anglais Andrew Common (1841-1903) furent certainement des éléments décisifs dans l'utilisation ultérieure de la photographie en astronomie. Ce dernier reçut d'ailleurs en 1884 la

médaille d'or de la Royal Astronomical Society pour des photographies obtenues avec son grand télescope de 91 cm de diamètre mis en service en 1879^[65].

De son côté, à l'observatoire du Cap de Bonne-Espérance, l'astronome royal David Gill (1843-1914) avait obtenu en 1882, avec des moyens de fortune, de belles photographies dont il envoya des copies à la Royal Astronomical Society et à l'Académie des Sciences de Paris. Il soulignait alors le nombre important d'étoiles visibles dans le champ de la comète et insistait sur la possibilité offerte par la photographie d'obtenir sur des plaques de grandes zones du ciel permettant de dresser rapidement des cartes du ciel tout entier. En 1885, Gill obtint une bourse de la Royal Society of London pour mener à bien un projet de cartes photographiques du ciel austral afin de compléter le catalogue *Bonner Durchmusterung* d'Argelander existant déjà pour l'hémisphère Nord. À Paris, les frères Henry étaient notamment chargés depuis le début des années 1870 de poursuivre l'atlas de l'écliptique entrepris au début des années 1860 par Jean Chacornac (1823-1873) à Marseille. Au début des années 1880, ils se trouvèrent devant une grande difficulté lorsqu'ils arrivèrent aux zones qui contenaient la Voie Lactée^[66]. En 1884 ils furent amenés à expérimenter la photographie astronomique de champs d'étoiles – avec des moyens de fortune, comme Gill. Leurs talents d'opticiens leur permirent d'obtenir des résultats remarquables.

L'avancée de 1885 : le problème résolu

En tête de son rapport annuel pour 1884 – présenté le 16 janvier 1885 –, Mouchez écrivit à propos des travaux des Henry : « *on peut considérer comme certainement résolu le problème longtemps cherché de faire la Carte du Ciel à l'aide de la photographie* »^[67]. Mouchez n'avait d'ailleurs pas attendu pour faire part à des astronomes étrangers du succès des frères Henry, et Gill lui avait écrit le 23 décembre 1884 pour connaître les détails de l'installation de ces derniers^[68]. Dans sa réponse à Gill en date du 22 janvier 1885, Mouchez souligna que « [l]es frères Henry (...) font d'admirables objectifs photographiques » ajoutant « [j]'ai de suite commencé chez Gautier un appareil spécial pour la photographie »^[69]. Le 23 février 1885, Gill lui répondit une longue lettre enthousiaste dans laquelle il spéculait sur la faisabilité de cartographier tout le ciel si les frères Henry arrivaient à produire un instrument dont le champ soit suffisamment lumineux – et aussi suffisamment grand pour que l'opération ne dure pas 50 ans... Et, imaginant ce que devrait être une telle opération, Gill précisait que « *The great point (...) is that the work should be undertaken on a carefully prepared plan and be continued on*

a uniform system with the same instrument, persistently and continuously till the whole has been accomplished », ajoutant aussitôt « [i]t is only in a great National Establishment that we can hope for such a long sustained systematic effort »^[70].

Avec sa déjà grande expérience et son énergie de jeune quadragénaire, Gill anticipait fort justement sur la grande opération de cartographie photographique du ciel, désormais faisable, dont les astronomes rêvaient depuis plus de vingt ans. Prévoyant la nécessité d'une méthodologie unique et d'une vaste collaboration, il signifiait dans le même temps clairement que l'établissement porteur du projet ne serait pas le sien.

Prudent, Mouchez répondit à Gill le 1^{er} mai 1885 qu'il attendait d'avoir des résultats définitifs avec « *le grand appareil photographique des frères Henry [qui] se compose de 2 lunettes juxtaposées dans un tube (...) rectangulaire, l'objectif de 38 cm pour la photographie et l'objectif de 16 cm comme pointeur* » avant de pouvoir « *faire un projet d'ensemble pour la carte du ciel* »^[71] (Fig. 3.7, 3.8 et 3.9).

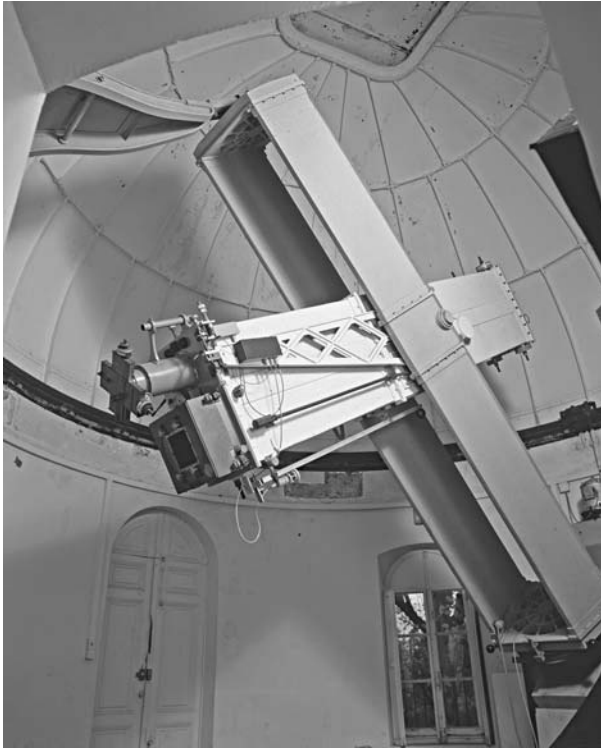


Figure 3.7. Équatorial photographique de la Carte du Ciel de l'Observatoire de Paris.

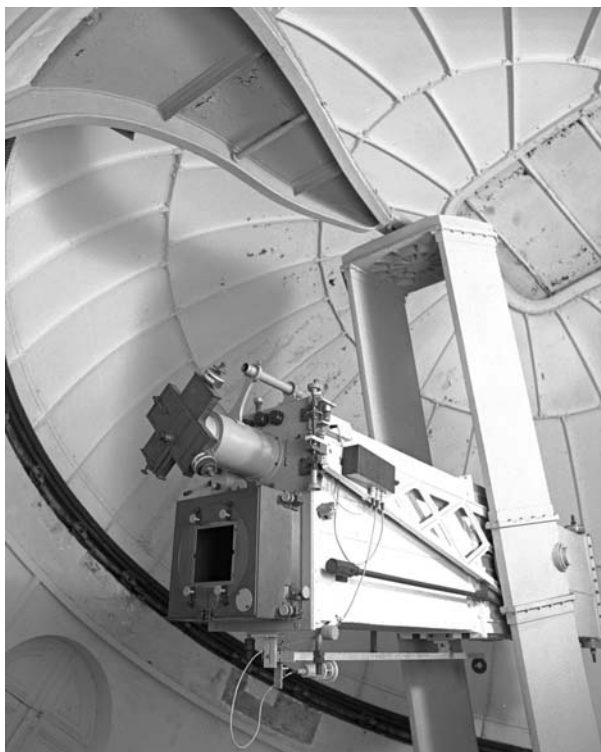


Figure 3.8. Vue arrière de l'équatorial photographique de la Carte du Ciel de l'Observatoire de Paris.



Figure 3.9. Coupole de la Carte du Ciel de l'Observatoire de Paris. L'autre coupole abrite un équatorial simple.

Les résultats définitifs en question furent concluants, et Mouchez continua à correspondre avec Gill à propos des différentes applications de la photographie à l'astronomie et de questions instrumentales. Le 3 juin, celui-ci lui écrivit : « *I shall be very glad to enter into a scheme for a "carte du ciel" in cooperation with you* »^[72].

Les choses mûrirent lentement jusqu'à ce que, dans une longue lettre à Mouchez en date du 1^{er} mars 1886, Gill estime que « *star charting of practical utility cannot be taken as haphazard, but must be begun on a plan carefully pre-considered in every detail, and carried out by instruments and methods as far as possible absolutely identical* »^[73]. À partir de ce moment-là, les deux directeurs multiplièrent les contacts avec leurs confrères étrangers, envisageant une conférence à Paris au printemps 1887 pour « *donner le temps aux astronomes qui s'intéressent à la question d'étudier tous les détails du projet et de se préparer à apporter au Congrès des idées bien étudiées* »^[74].

Entre temps Mouchez convainquit à la fois le gouvernement de financer la construction de trois lunettes photographiques identiques à la première afin d'en doter trois observatoires de province^[75] et l'Académie des Sciences de mobiliser la communauté des astronomes du monde entier en vue de la prochaine tenue à Paris d'une « *Conférence internationale pour le levé photographique de la carte générale du Ciel* »^[76].

La participation des observatoires de province

En avril 1886, Louis Liard (1846-1917), qui depuis 1884 remplaçait Albert Dumont, décédé, à la Direction de l'enseignement supérieur, envoya une lettre circulaire aux six directeurs concernés leur indiquant les grandes lignes du projet de cartographie céleste rendu possible par « *les remarquables résultats obtenus (...) par MM. Henry* » et leur précisant : « *Je serais heureux que dans cette œuvre savante la France eût une part aussi large que possible. Le Conseil de l'Observatoire de Paris a pensé avec moi qu'il convenait d'y associer quelques-uns des départements. Le choix de ces observatoires devra être déterminé par diverses considérations tirées de la situation géographique, de l'outillage et de l'aptitude spéciale du personnel* »^[77].

Dès le 22 avril, donc extrêmement rapidement, Rayet manifesta son vif intérêt à Mouchez :

« Permettez-moi de répondre directement aux questions que M. le ministre nous pose relativement à l'installation d'un service de photographie céleste dans l'un des observatoires de province. L'Observatoire de Bordeaux offre tout l'espace nécessaire à la construction d'un équatorial spécial et d'un cabinet photographique. Je me suis autrefois occupé de photographie et la faculté des sciences possède un préparateur de Chimie qui est un photographe habile. On pourrait tenter de le faire entrer à l'Observatoire. Reste seulement la question des crédits nécessaires à un nouvel instrument et à un nouveau service ; ces crédits ne peuvent être prélevés sur notre unique budget actuel. J'aurai d'ailleurs l'honneur de vous entretenir de ces questions avant la séance du 30 avril, à laquelle je considère comme un devoir de me rendre »^[78].



Figure 3.10. Construction du bâtiment et de la coupole de la Carte du Ciel de l'observatoire de Bordeaux en 1889.

Cette précipitation du directeur de l'observatoire de Bordeaux semblerait indiquer que celui-ci craignait de ne pas être sur la liste des heureux élus. Bien que l'observatoire de Bordeaux fut à l'époque mieux doté que ceux de Besançon et Lyon en termes d'instruments et qu'il disposa du budget le plus important après celui de Marseille, Rayet ne considérerait sans doute pas pour autant que tout allait pour le mieux dans son établissement^[79]. Désireux depuis son arrivée à Bordeaux de mettre en place des recherches spectroscopiques, Rayet avait pris rapidement conscience « du fossé qui le sépar[ait] des spectroscopistes étrangers »^[80], et aussi sans aucun doute de l'état d'avancement de ce type de recherches à l'observatoire d'Alger (Fig. 3.11, 3.12 et 3.13).



Figure 3.11. Coupole de la Carte du Ciel de l'observatoire d'Alger.

Non seulement ce dernier bénéficiait de conditions climatiques autrement favorables que celles de Bordeaux, mais son personnel – certes réduit en nombre (Trépied et son adjoint Rambaud), mais libre de liens institutionnels avec une Faculté ou une municipalité – produisait un nombre impressionnant d'observations, y compris spectroscopiques^[81].

Lors de la réunion du 30 avril, il fut décidé que trois observatoires de province recevraient un astrographe semblable à celui des frères Henry, les établissements destinataires devant toutefois s'engager à faire construire de leur côté les abris de ces instruments. Dès le 6 mai 1886, Georges Rayet écrivit au maire de Bordeaux : « Je viens (...) Monsieur le Maire vous prier de soumettre au Conseil municipal de Bordeaux la question de savoir si, jaloux d'affirmer une fois de plus sa sollicitude pour les études astronomiques, il ne voudrait pas accorder à l'observatoire une subvention extraordinaire de 15 000 francs. Si cette somme pouvait être accordée à l'établissement que je dirige notre cause serait certainement gagnée et l'Observatoire de Bordeaux aurait la possibilité de coopérer dans de bonnes conditions à un travail qui fera époque en astronomie »^[82].

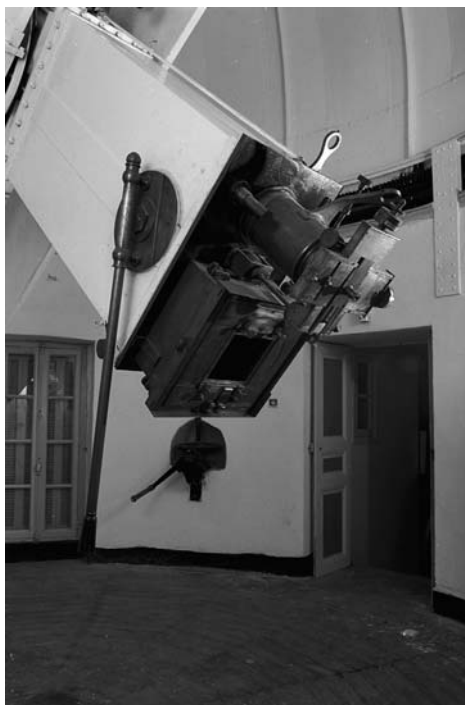


Figure 3.12. Ouverture libre de l'objectif de l'équatorial photographique de l'observatoire d'Alger.

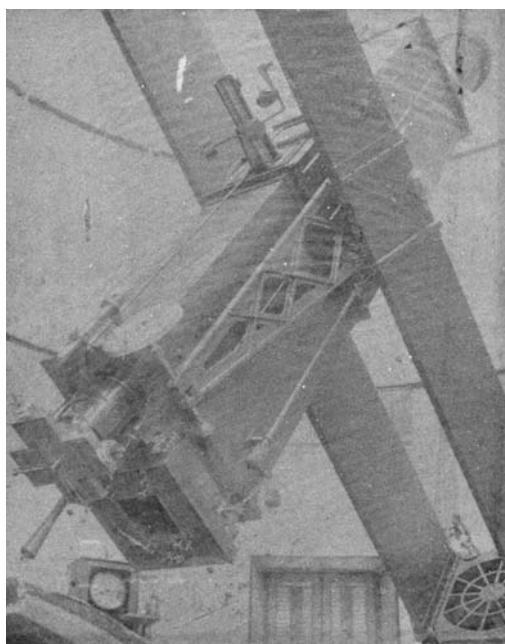


Figure 3.13. Photographie de l'équatorial photographique de la Carte du Ciel (observatoire d'Alger).

Le 18 mai 1886, Liard convoqua le Comité consultatif des observatoires de province pour le « *choix des stations pour la carte du ciel* ». Assistèrent à la réunion Loewy, Mouchez, Tisserand, ainsi que Goepp^[83]. Rapidement, « *Alger [fut] désigné à l'unanimité comme devant recevoir un des instruments* »^[84]. Après que Liard eut rappelé que les instruments en question seraient payés sur les fonds des Facultés, Loewy proposa « *que les deux autres instruments soient attribués aux établissements qui ont eu une initiative personnelle* » et « *vot[a] d'abord pour Toulouse* »^[85], ce qui fut adopté. Il restait à choisir entre Besançon, Bordeaux, Lyon et Marseille pour la troisième lunette. Marseille fut écarté « *comme ayant un personnel trop restreint et trop occupé déjà* »^[86], Besançon ne fut pas même mentionné. Le procès-verbal indique que Tisserand estima que « *Bordeaux a[vait] montré plus d'initiative* », que Loewy « *dit que Lyon [était] très occupé par la météorologie* », et que pour Mouchez ni Bordeaux, ni Lyon n'étaient bien situés, le premier « *bien près de la mer* » et le second « *à la confluence de deux rivières* »^[87]. Ce sont finalement Tisserand et Liard qui firent pencher la balance du côté de Bordeaux : Liard, bien informé, précisa que Rayet avait déjà demandé 15 000 francs au Conseil municipal pour la construction d'une nouvelle coupole (Fig. 3.14, 3.15 et 3.16) et Tisserand argua que le ciel de Bordeaux valait somme toute mieux que celui de Lyon et qu'à son avis « *M. André y [tenait] moins que M. Rayet* »^[88].



Figure 3.14. Inauguration officielle de la coupole de la Carte du Ciel de l'observatoire de Bordeaux en 1892.

C'est dans ces conditions complexes que, un an avant la réunion du Congrès international à Paris, l'astronomie française décida de se lancer dans une aventure scientifique inédite dont aucun des protagonistes ne pouvait soupçonner l'ampleur.

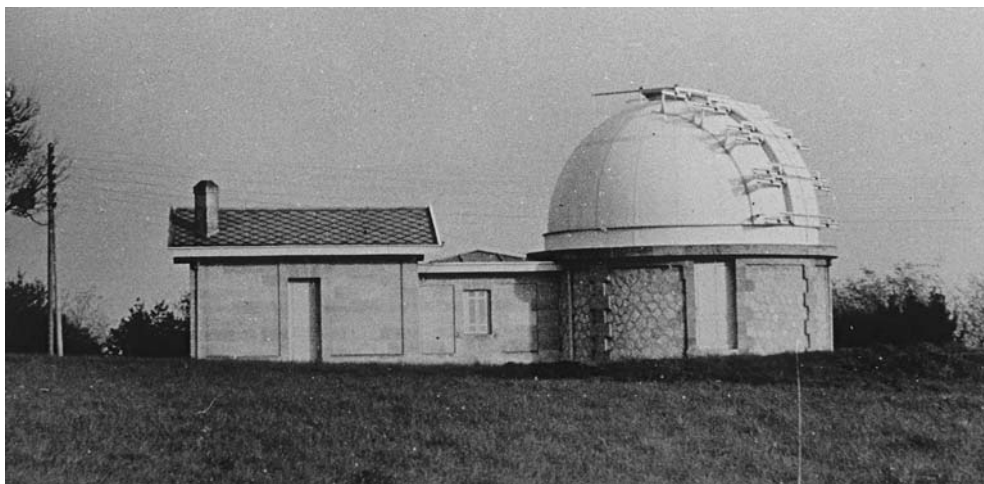


Figure 3.15. Coupole et bâtiment de Carte du Ciel avec le laboratoire photographique (observatoire de Bordeaux).

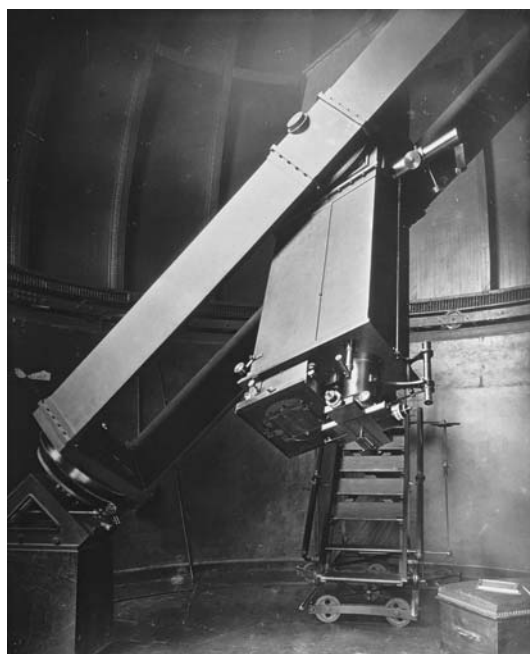


Figure 3.16. Équatorial photographique de la Carte du Ciel (observatoire de Bordeaux) fin XIX^e.

Conclusion

L'étude approfondie de l'état – institutionnel, instrumental, financier, humain – dans lequel se trouvait l'Observatoire de Paris durant les années qui suivirent la mort de Le Verrier nous a permis de mieux appréhender la très grande complexité du contexte dans lequel a été prise la décision de Mouchez et Gill de lancer une opération internationale de cartographie du ciel. Arguments scientifiques, enjeux institutionnels, concordance et télescopage de logiques d'astronomes, événements extérieurs et concomitances imprévisibles sont quelques-uns des ingrédients ayant conduit au démarrage à Paris au début de 1886 de cette aventure scientifique exceptionnelle – mais somme toute dans « l'air du temps » des astronomes.

L'attribution en France de trois lunettes photographiques destinées à compléter celle des frères Henry semble quant à elle résulter autant de l'immense talent technique des concepteurs du prototype, du savoir-faire politique et du pouvoir de persuasion de l'équipe Mouchez/Loewy que d'une certaine mauvaise conscience sur fond de mauvais vouloir du ministère : les trois lunettes sont certes accordées, mais elles sont financées non sur des fonds spéciaux mais sur les fonds destinés aux facultés.

Étonnamment, si l'on s'en tient au procès-verbal de la fameuse réunion du 18 mai 1886, la sélection des stations destinataires des trois instruments ne semble avoir suscité ni enthousiasme débordant, ni discussions d'ordre véritablement scientifique. Au contraire, les arguments rapportés laissent transparaître en filigrane à la fois des tensions entre le ministère et les trois astronomes présents et des tensions entre les astronomes eux-mêmes.

Que penser *a posteriori* des décisions du Comité consultatif ? S'il est évident que pour des raisons strictement climatiques l'observatoire d'Alger devait s'engager dans l'aventure, il est quasiment évident que, compte tenu leur moindre état d'avancement et de leurs spécificités non astronomiques, les nouveaux observatoires de Lyon et de Besançon pouvaient difficilement être parties prenantes de l'opération. Est-ce parce que l'observatoire de Stephan était « *entrée depuis plusieurs années dans une sphère d'activité régulière* »^[89] et que son personnel expérimenté était pleinement impliqué dans de nombreux projets qu'il ne dévia pas de son chemin et resta à l'écart de l'opération – alors même que les conditions climatiques y étaient plus favorables qu'à Bordeaux ou Toulouse ?

Est-ce parce que ceux de Bordeaux et Toulouse n'étaient justement pas encore entrés dans une « *sphère d'activité régulière* » que les deux astrographes restants leur furent accordés ? En partie sans doute. Mais, comme on l'a vu, d'autres considérations plus ou moins scientifiques entrèrent aussi en ligne de compte dans la non-participation de Marseille à l'opération. Complexe dès mai 1886, l'affaire n'allait pas de sitôt cesser de l'être...

Par le présent travail, nous souhaitons avoir contribué à une meilleure compréhension de la décision que prit Mouchez et avoir apporté un éclairage nouveau sur la participation de l'astronomie française à ce grand projet de cartographie du ciel. Nous espérons aussi avoir établi quelques faits permettant de nuancer les jugements souvent sans appel portés sur le lancement de cette opération par l'Observatoire de Paris.

Références

- [1] Arthur Marais de Beauchamp, *Recueil des lois et règlements sur l'enseignement supérieur : comprenant les décisions de la jurisprudence et les avis des conseils de l'Instruction Publique et du Conseil d'État*, T. I, 1789-1847, Paris, Typographie de Delalain Frères, 1880, p. 33.
- [2] Françoise Le Guet Tully, « De la réorganisation du Bureau des longitudes en 1854 à la création de l'observatoire de Nice en 1879 : vingt-cinq années cruciales pour l'astronomie française », in *Observatoires et patrimoine astronomique français*, Guy Boistel (ed.), Lyon, ENS Editions, 2005, p. 89-107.
- [3] A. de Beauchamp, *Recueil des lois et règlements sur l'enseignement supérieur*, T. II : 1848-1874, Paris, Typographie Delalain Frères, 1882.
- [4] *Ibidem*.
- [5] *Ibidem*.
- [6] La chute de l'Empire et la défaite de la France contre la Prusse avaient profondément traumatisé le monde des savants français en général. Aussi la communauté des astronomes était-elle troublée non seulement par ses querelles intestines mais aussi bien évidemment par les événements politiques extérieurs.
- [7] A. de Beauchamp, *Recueil des lois et règlements sur l'enseignement supérieur*, T. II : 1848-1874, Paris, Typographie Delalain Frères, 1882 ; A. de Beauchamp, *Recueil des Lois et règlements sur l'enseignement supérieur*, T. III : 1875-1883, Paris, Typographie Delalain Frères, 1884.

- [8] Ces réformes s'inscriront d'ailleurs dans la profonde refonte de l'organisation de la recherche et de l'enseignement supérieur préconisée par le nouvel ordre politique dès 1871. Christophe Charle, *La République des universitaires, 1870-1940*, Paris, Le Seuil, 1994. Jean-François Picard, *La république des savants. La recherche française et le C.N.R.S.*, Paris, Flammarion, 1990. Harry W. Paul, *From knowledge to power. The rise of the science empire in France, 1860-1939*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985. Robert Fox et George Weisz (ed.), *The organization of science and technology in France, 1808-1914*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980.
- [9] A. de Beauchamp, *Recueil des lois et règlements sur l'enseignement supérieur*, T. III : 1875-1883, Paris, Typographie Delalain Frères, 1884.
- [10] Françoise Le Guet Tully, « Une commande d'exception », *Les Riviera de Charles Garnier et Gustave Eiffel*, Marseille, Imbernon (ed.), 2004, pp. 15-44.
- [11] Dans le même temps, Jules Ferry met en place la politique scolaire basée sur les principes de gratuité, d'obligation et de laïcité qui restera attachée à son nom et prépare la réforme de l'Université.
- [12] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1879*, Paris, Paul Dupont, 1880, p. 4.
- [13] *Ibidem*, p. 5.
- [14] *Ibidem*, p. 5. L'observatoire de Marseille avait été transféré au plateau Longchamp en 1863 à l'initiative de Le Verrier afin d'y installer le télescope à miroir en verre argenté de 80 cm de diamètre que Foucault avait construit à l'Observatoire de Paris.
- [15] *Ibidem*, p. 6.
- [16] Créé par décret en 1878 comme ceux de Bordeaux et de Lyon, l'observatoire de Besançon rencontra quelques difficultés à ses débuts en raison de conflits entre le ministère et le premier directeur. Ces difficultés s'aplanirent dès la nomination en 1881 de Louis-Jules Gruey (1837-1902).
- [17] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1879*, Paris, Paul Dupont, 1880, p. 15.
- [18] *Ibidem*, p. 16.
- [19] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1880*, Paris, Imprimerie Nationale, 1881, p. 3.
- [20] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1882*, Paris, Imprimerie Nationale, 1883, p. 6.
- [21] *Ibidem*, p. 6.
- [22] *Ibidem*, p. 6.
- [23] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1880*, Paris, Imprimerie Nationale, 1881, p. 4.

- [24] Charles Wolf, « Le cercle méridien de M. R. Bischoffsheim à l'Observatoire de Paris », *La Nature*, Paris, 1877, T 2, pp. 406-410.
- [25] Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, « Le patrimoine de l'astronomie : l'exemple des cercles méridiens », *In Situ*, numéro spécial, septembre 2005, 42 p. (http://www.revue.inventaire.culture.gouv.fr/insitu/insitu/article.pdf?numero=6&id_article=davoigneau-467, avril 2007).
- [26] Charles Wolf (?), « Le grand télescope de l'Observatoire de Paris », *La Nature*, Paris, 1876, T1, pp. 39-43.
- [27] Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pendant l'année 1879*, Paris, Gauthier-Villars, 1880, p. 12.
- [28] Dans son premier rapport, Mouchez suggéra à propos de ce « *magnifique télescope* », « *un des plus grands qui aient été construits* », qu'« *il aurait été préférable de [le] placer sous le beau ciel de l'Algérie, où il aurait pu être utilisé deux cents ou deux cent cinquante nuits par an* » au lieu de quarante ou cinquante à Paris (Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pendant l'année 1879*, Paris, Gauthier-Villars, 1880, p. 11). Ayant renoncé à l'utiliser pour l'astronomie physique en raison des conditions météorologiques parisiennes, Mouchez mentionna ensuite son utilisation pour des essais photographiques – en précisant toutefois « *sans parvenir encore à obtenir aucun progrès sur ce qui existe déjà* » (Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1880*, Paris, Gauthier-Villars, 1881, p. 8). Dans son rapport pour 1882, il indiqua que le télescope n'avait pas été utilisé en raison de la mobilisation du personnel pour le passage de Vénus. Les années suivantes, l'instrument figura parfois, en fin de rapport, dans la liste des changements apportés aux instruments (réargenture du miroir, etc.). Compte tenu des difficultés innombrables que rencontra Mouchez pour faire fonctionner les autres services de l'Observatoire de Paris, il n'est sans doute pas étonnant qu'après le passage de Vénus il n'affecta aucun de ses astronomes compétents à cet instrument – qui de ce fait se trouva rapidement à l'abandon.
- [29] Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1883*, Paris, Gauthier-Villars, 1884, p. 18.
- [30] Mouchez précisera que l'équatorial coudé de 0,60 m a été accordé à l'Observatoire de Paris « *en remplacement de la grande lunette de 0,74, cédée à l'Observatoire de Meudon* » (Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1886*, Paris, Gauthier-Villars, 1887, p. 23).
- [31] Philippe Véron, « L'équatorial de la tour de l'est de l'Observatoire de Paris », *Revue d'Histoire des Sciences*, 2003, 56, n° 1, pp. 191-220.
- [32] Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1882*, Paris, Gauthier-Villars, 1883, p. 7.

- [33] D'autant que la course aux grandes lunettes avait commencé au tournant des années 1870 (avec celle de 64 cm de diamètre construite en Angleterre par Newall) et qu'elle n'avait évidemment pas cessé depuis.
- [34] Maurice Loewy, « Sur un nouvel instrument équatorial », Note présentée par Delaunay le 2 octobre 1871, *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*, T 73, 1871, pp. 851-853.
- [35] Seuls les observatoires de Bordeaux, Marseille et Toulouse n'en furent pas équipés.
- [36] Publié de 1894 à 1909.
- [37] Gilles Adam, « L'équatorial coudé de l'observatoire de Lyon », *L'Astronomie*, 117, juillet-août 2003 ; Françoise Le Guet Tully, Hamid Sadsaoud, Marc Heller, « La création de l'observatoire d'Alger », *Musée des Arts et Métiers, La revue*, n° 38, 2003, pp. 26-35. Jean Davoigneau, Françoise Le Guet Tully, *Observatoires astronomiques Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Association pour le patrimoine de Provence, 1999, 32 p. Par ailleurs une étude de l'ensemble des lunettes équatoriales coudées et des maquettes du prototype est en cours par Françoise Le Guet Tully et Jean Davoigneau.
- [38] Des élèves astronomes commencèrent à être formés à l'Observatoire de Paris à la fin de 1879. Les études, qui devaient initialement durer deux ans, furent rapidement portées à trois.
- [39] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1880*, Paris, Imprimerie Nationale, 1881, p. 4.
- [40] James Caplan, *Histoire de l'Observatoire de Marseille*, <http://www.oamp.fr/patrimoine/histoire-f.html> (mai 2007) ; Jean Davoigneau, Françoise Le Guet Tully, *op. cit.*, pp. 1-2 et 26-31.
- [41] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1879*, Paris, Paul Dupont, 1880, p. 6.
- [42] Jérôme Lamy, *Archéologie d'un espace savant. L'observatoire de Toulouse aux XVIII^e et XIX^e siècles : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, Thèse pour le doctorat d'histoire des sciences, EHESS, 2004, p. 496.
- [43] Guillaume Bigourdan suivit Tisserand à Paris et Henri Perrotin (1845-1904) devint directeur de l'observatoire de Nice.
- [44] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1880*, Paris, Imprimerie Nationale, 1881, p. 14.
- [45] *La Nature*, 1877, T1, pp. 218-219.
- [46] Entre-temps redevenu professeur de lycée, puis professeur de Faculté.
- [47] Le domaine choisi en accord avec le conseil municipal de Lyon pour les travaux astronomiques se trouve « à une altitude de 285 m au-dessus du niveau de la mer (...) à l'abri des brouillards du confluent » des deux cours d'eau qui arrosent la ville de Lyon.

- [48] Ce sera l'avant-dernier cercle méridien dû à Eichens (1818-1884) qui tombe malade peu après. Paul Gautier (1842-1909) lui succèdera.
- [49] C'est à Lyon que sera installée la première des six lunettes coudées Loewy.
- [50] Rappelons que c'est aussi en 1866 qu'est passée à Toulouse la commande d'un télescope similaire à celui de Marseille.
- [51] Député républicain de 1863 à 1870.
- [52] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1879*, Paris, Paul Dupont, 1880, p. 14.
- [53] Laetitia Maison, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, Thèse pour le doctorat d'épistémologie et d'histoire des sciences, Université de Bordeaux I, 2004.
- [54] Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, *art. cit.*, p. 19 (http://www.revue.inventaire.culture.gouv.fr/insitu/insitu/article.pdf?numero=6&id_article=davoigneau-467, avril 2007).
- [55] Parmi tous les observatoires institutionnels de province, seul celui de Bordeaux fut doté d'une lunette équatoriale de dimension équivalente à celle construite par Struve à Pulkovo en 1839. La lunette de 38 cm de l'observatoire de Nice fut mise en fonction la même année que celle de Bordeaux, mais dans un observatoire privé.
- [56] Françoise Le Guet Tully, Hamid Sadsaoud, Marc Heller, « La création de l'observatoire d'Alger », *Musée des arts et métiers, La Revue*, n° 38, juin 2003, pp. 26-35.
- [57] Cette décision fut prise à la suite d'un imbroglio scientifique impliquant Le Verrier et Faye.
- [58] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1885*, Paris, Imprimerie Nationale, 1886, p. 5.
- [59] *Ibidem*, p. 18.
- [60] *Ibidem*, p. 21.
- [61] En 1885 les instruments équatoriaux phares de chacun d'eux – les lunettes coudées système Loewy – sont en effet loin d'être installés : à Besançon le bâtiment est tout juste terminé, à Lyon il n'est pas commencé. Quant aux observations méridiennes, elles sont régulières à Lyon depuis 1879 mais ne commenceront qu'en 1886 à Besançon.
- [62] Il est intéressant de souligner que tous les directeurs des observatoires de province – à l'exception de Trépied à Alger – étaient d'anciens normaliens et qu'ils étaient chargés d'un cours d'astronomie à la Faculté des Sciences de leur ville.
- [63] Ces deux « anciens » observatoires possédaient chacun un grand télescope à miroir en verre dont la monture était en bois : à Marseille il s'agissait de l'original achevé à Paris par Foucault en 1862 et à Toulouse d'une copie de ce dernier, commandé à Foucault en 1863 mais achevé seulement en 1875, au moment même où le personnel était sur le point de changer.

- [64] Ainsi en 1884 Rayet acheta un « *héliostat grand modèle et ses accessoires* », mais n'en fit apparemment pas usage. Voir Laetitia Maison, *op. cit.*
- [65] John Lankford, « The impact of astronomical photography », *The general History of astronomy, Volume 4, Astrophysics and twentieth-century astronomy to 1950: Part A*, Owen Gingerich (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1984, pp. 16-39.
- [66] Ils ne sont évidemment pas les seuls, d'autres observatoires sont activement impliqués dans le même genre de travaux et rencontrent les mêmes difficultés.
- [67] Ernest Mouchez, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1884*, Gauthier-Villars, 1885, p. 18.
- [68] Ileana Chinnici, *La Carte du Ciel. Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Paris, Observatoire de Paris, Palerme, Osservatorio Astronomico di Palermo, p. 82.
- [69] *Ibidem*, p. 83.
- [70] *Ibidem*, p. 84.
- [71] *Ibidem*, p. 85.
- [72] *Ibidem*, p. 86.
- [73] *Ibidem*, p. 87.
- [74] *Ibidem*, p. 87.
- [75] Quoique les trois lunettes accordées doivent être payées « *sur les fonds des Facultés* », cette décision constitue une victoire pour Mouchez à qui le gouvernement avait refusé en 1885 un crédit spécial pour la construction de la lunette photographique prototype des frères Henry.
- [76] Gaston Tissandier, *La Nature*, 1887, T1, pp. 321-323.
- [77] Ileana Chinnici, *op. cit.*, p. 47.
- [78] Ileana Chinicci, *op. cit.*, p. 73.
- [79] Dans sa thèse, Laetitia Maison avance une série de causes, liées et convergentes, qui expliquent l'engagement actif et volontaire de Rayet dans ce nouveau projet (Laetitia Maison, *op. cit.*, pp. 188-192).
- [80] Laetitia Maison, *op. cit.*, p. 186. Rayet semble par ailleurs souffrir d'une sorte d'insatisfaction chronique qui transparaît notamment dans ses relations avec les « autorités parisiennes » et le distingue de ses plus proches collègues, Stephan et Baillaud.
- [81] Trépied disposait d'un grand spectroscopie de Thollon pour le Soleil depuis 1882 et d'un spectroscopie stellaire depuis 1885.
- [82] Archives de l'observatoire de Bordeaux.
- [83] Étaient absents Berthelot, Faye et Janssen, peu concernés par l'ordre du jour.
- [84] Archives Nationales (AN), F¹⁷ 3752, Procès-verbal de la séance du 18 mai 1886.
- [85] *Ibidem*.
- [86] *Ibidem*.

[87] *Ibidem.*

[88. *Ibidem.*

[89] *Rapport sur les observatoires astronomiques de province. Année 1881*, Paris, Imprimerie Nationale, 1882, p. 12.

LA PHASE CRITIQUE DE LA CARTE DU CIEL À PARIS, 1920-1940

Arnaud SAINT-MARTIN

Université Paris-Sorbonne

« La Carte du Ciel n'est que la première partie d'un travail qui ne se terminera jamais. C'est l'astronomie de l'avenir, celle qui se développe de plus en plus, et qui, aux États-Unis, est déjà presque l'astronomie du présent. La France, qui a été la plus grande promotrice de cette belle œuvre, créée par les frères Henry et lancée par l'amiral Mouchez, ne peut pas retourner en arrière et s'abaisser au rang des nations inférieures, pauvres et déshéritées ».

Gaston Millochau, 1912^[1].

Introduction

À partir du début des années 1920, une « crise » paraît déstabiliser l'astronomie française. Ce n'est certes pas la première fois que cet épouvantail est agité. Pourtant la situation est alors perçue comme assez critique pour que, sous l'injonction du ministère de l'Instruction Publique^[2], l'Académie des sciences forme une commission chargée d'établir un programme pour le « relèvement » des études astronomiques en France. La Belle Époque est bien terminée. Avec elle l'empire de l'astronomie française. Passé la Grande Guerre, les savants français ne se voient plus au premier rang. Au sein de l'Union Astronomique Internationale (UAI) récemment fondée en 1919, on préserve les apparences. Benjamin Baillaud,

président de l'UAI et directeur de l'Observatoire de Paris, énonce les grandes lignes d'une administration transnationale de l'astronomie. En s'octroyant la gestion du Bureau International de l'Heure, Paris demeure, au moins pour quelques années encore, la capitale symbolique du monde astronomique. Cependant, si la face n'est pas perdue à l'étranger, au niveau national, l'atmosphère est en revanche moins rayonnante. L'internationalisation de l'astronomie a provoqué des dommages collatéraux. Alors que la suprématie des observatoires de l'Amérique est éclatante, des astronomes contestent l'organisation du cadre des observatoires d'État. Le verdict de la commission des observatoires est formel : le redressement de l'astronomie suppose le développement de l'astrophysique à la mode californienne. C'est peu dire que, dans ce contexte, l'intérêt et le statut institutionnel de la Carte du Ciel tombent en discrédit.

Comment la Carte est-elle développée dans ce contexte d'incertitude ? Pendant l'entre-deux-guerres, les astronomes sont unanimes pour reconnaître que le programme entre dans sa phase terminale. Pour autant, ils n'en voient toujours pas le bout et commencent à interroger l'utilité des premiers résultats obtenus. Dans cette étude, nous nous focalisons sur l'évolution de la Carte à l'Observatoire de Paris. Ce choix n'est pas innocent. Encore dans les années 1920, Paris est le siège administratif de la Carte. C'est, au sens large, l'observatoire des recompositions qui transforment cette dernière. Nous procéderons en trois étapes. Nous commencerons par mettre en évidence les enjeux scientifiques et politiques de la crise de 1920. La critique de la Carte à laquelle se livrent certains astronomes vise d'une certaine façon l'institution même de l'Observatoire de Paris et, au-delà, le fonctionnement du champ astronomique français. Ensuite, nous reviendrons sur le projet avorté de création d'un Laboratoire de statistique astronomique à l'intérieur de l'Observatoire. Cet échec montre les apories du programme entré dans sa phase d'exploitation. Enfin, changeant d'échelle, nous décrirons la manière dont les astronomes de Paris tentent de *sauver* l'entreprise de la faillite à partir de 1936, en France comme au sein de l'UAI. En explorant l'histoire de la Carte de 1920 à 1940, nous serons à même de discuter les thèses relatives au « déclin » de l'astronomie française pendant la première moitié du xx^e siècle.

La crise de l'astronomie française : l'Observatoire de Paris mis au banc

La citation en exergue illustre le genre de considérations qui accompagne l'encadrement de la Carte du Ciel. À la veille de la Première Guerre mondiale,

Gaston Millochau, président de l'Association amicale des personnels des observatoires français, rappelle en substance que la contribution des astronomes n'est pas sans arrière-pensée. Peu de fonctionnaires des observatoires critiquent alors *ouvertement* ce positionnement scientifico-politique. C'est par ce biais que l'astronomie française parvient à s'assurer un contrôle minimal sur l'évolution de la discipline dans un contexte d'internationalisation progressive. Ainsi, Benjamin Baillaud estime, à l'issue du Congrès du Comité de la Carte du Ciel tenu à Paris en 1909, que l'essentiel pour la France est « *d'avoir un beau rôle* » à jouer – au moins jusqu'à l'achèvement du « *travail* », prévu en 1925 « *sauf circonstances imprévues* ». « *C'est [même] la préoccupation constante des astronomes français, précise Baillaud. Ils savent que c'est la France qui, dans l'ordre théorique, a donné au monde la mécanique céleste ; et dans le domaine de l'astronomie pratique sans parler d'un passé glorieux, elle a appliqué à l'astronomie, la photographie, découverte française. À ces deux points de vue elle occupe la première place. Elle doit la garder* »^[3]. L'universalisme affiché lors des congrès internationaux n'empêche pas le surgissement des questions de propriété et de priorité nationales^[4].

Cependant, le discours des dirigeants change en 1918. Il prend des accents dramatiques. Le Conseil des Observatoires^[5] constate l'existence d'une crise multifocale. En fait, c'est le cadre des observatoires de l'État institué en application des décrets-lois de 1907 qui est parasité par des dysfonctionnements. Entre autres problèmes, le Conseil craint que les éventuels candidats à la fonction d'astronome fassent défaut. Les pertes humaines engendrées par le conflit mondial n'expliquent pas totalement cette désaffection. Les traitements jugés trop peu élevés et la rigidité du fonctionnariat scientifique risquent de détourner de la carrière les jeunes savants désireux de trouver une situation matérielle dans des délais brefs, notamment dans les Facultés des sciences. Mais plus encore que le constat d'une crise de vocation, c'est le fonctionnement même de l'astronomie institutionnelle qui se trouve remis en cause.

À l'initiative de la Commission, Deslandres dégage donc les causes de la crise. Président de l'Académie des sciences, il dispose d'ailleurs de toute l'autorité nécessaire pour orienter la conduite des débats. Outre le difficile recrutement, il met l'accent sur le faible développement de l'astronomie physique, d'autant plus fâcheux selon lui que l'astronomie de position « *est arrivée au terme de son développement* »^[6]. Il n'explique pas les raisons pour lesquelles les Français continuent de privilégier une astronomie « traditionnelle » à bout de souffle. Cependant, il ne fait pas de doute pour l'astrophysicien que l'engagement des

observatoires dans la Carte du Ciel n'a que trop duré^[7]. Des dispositifs instrumentaux conçus en Amérique ont vite rendu caduque la « *solution [technique] des frères Henry* », si bien que l'astronomie française n'a pu contribuer aux recherches avant-gardistes – aux recherches sur les courants d'étoiles, par exemple. Pour autant, Deslandres ne nie pas l'importance du programme ni l'intérêt de l'astronomie de position. Émile Picard non plus, qui considère pour sa part que « *la France doit faire honneur à sa signature* »^[8] et parachever la Carte. Dont acte. Remarquons que la Carte se trouve ici *identifiée* au domaine de l'astronomie de position, alors qu'il était d'usage de l'incorporer nettement à l'astronomie physique au début du siècle.

Au terme des onze séances, la Commission fait valoir un ensemble de résolutions qui sont supposées enrayer la crise. Une conviction unanime émerge. Les astronomes se servent du modèle d'organisation des observatoires du Nouveau Monde pour tenter de réformer leurs institutions^[9]. Pour Baillaud, en effet, « *tout travail fait en Amérique [doit] être fait en France* »^[10]. Plus que tout autre, l'Observatoire du mont Wilson est cité en exemple. Il représente l'organisation astronomique optimale, un « *modèle* » qui a « *la sanction de l'expérience* »^[11]. Il est situé en montagne en dehors de l'espace urbain, les astrophysiciens californiens disposent des instruments les plus puissants, de conditions d'existence favorables et leurs recherches ne sont pas entravées par des « *tâches de service* »^[12].

Acquérir un ou deux réfracteurs n'est pas tout. Encore faut-il savoir en déterminer l'usage. Or c'est là que les débats sont les plus intenses. Que l'astrophysique constitue la branche vers laquelle l'astronomie doit tendre ne soulève pas d'opposition. Cependant, aucune ligne d'action commune n'émerge. Le point d'achoppement le plus fondamental est le statut de l'Observatoire de Paris. Les astronomes des départements font feu sur l'établissement. Ils prennent au mot Baillaud, pour qui « *l'histoire des progrès de l'astronomie en France est, en grande partie, l'histoire de l'Académie des sciences et de l'Observatoire de Paris* »^[13]. Si donc l'astronomie française périclité, l'Observatoire doit en être à l'origine. Dans son *Rapport*, Deslandres s'oppose au monopole de l'Observatoire – membre de l'Institut, il n'a cependant rien à redire à l'ingérence du Quai Conti. Le cadre de 1907 censé établir la décentralisation des études astronomiques lui apparaît vicié. Les personnels et les instruments sont mal répartis entre les observatoires. Ainsi, les astronomes « *se gênent les uns les autres* » à Paris, et il est « *impossible de donner à chacun un instrument pour ses recherches personnelles* »^[14]. À l'inverse, les observatoires de province pâttissent d'un dénuement perpétuel. Deslandres n'est

certes pas le premier à pointer ce fait dirimant. Lors des séances du Conseil des Observatoires, les directeurs des établissements provinciaux contestent également l'hégémonie des astronomes parisiens^[15]. À ces critiques, Baillaud objecte fatalement l'autorité indiscutable du directeur de l'« *Observatoire national* ». Mais rien n'y fait. La domination « naturelle » et pluriséculaire de Paris est disputée. Les mesures évoquées par certains membres de la Commission sont parfois radicales. Pour assurer une meilleure répartition des effectifs et des instruments, on envisage ainsi de supprimer un ou deux observatoires. Marseille est évoqué, Paris également. La suppression de l'observatoire créé sous Louis XIV se veut une décision de raison. Alors que les observations requièrent des conditions climato-logiques favorables, un nombre de nuits minimal, le site de Paris apparaît de plus en plus inapproprié. Dans la Ville-Lumière, les « *rendements* » sont fatalement revus à la baisse. À la rigueur, les seuls secteurs dans lesquels le « *sanctuaire de l'astronomie française* » peut encore contribuer sont la muséologie ou l'enseignement. La critique de l'emplacement demeure polie. Le débat vient à être tendu lorsque le problème de la *productivité* de l'Observatoire de Paris est abordé. Les attaques sont franches. Et ici, la gestion de la Carte est épinglée.

La critique touche un point sensible de l'administration parisienne. L'établissement traverse une crise de production depuis au moins le début des années 1910. Les cycles de production des catalogues de position sont enrayés. Vers quelles études faut-il s'orienter ? L'actualisation des données astrométriques n'est plus au goût du jour. Avant 1914, la continuation de la Carte et l'investissement dans la chronométrie, solutions *ad hoc*, laissent l'institution en sursis. Après 1918, Baillaud tient la même ligne. Cependant, Deslandres considère que la contribution des Parisiens dans le programme cartographique n'est pas exempte de tout reproche. Les observatoires de province se montrent plus performants en dépit des difficultés matérielles. C'est par exemple le cas de Bouzareah (Alger), qui s'est acquitté de sa tâche depuis 1919. Du moins c'est l'avis de son directeur, François Gonnessiat, qui « *rappelle l'effort de son personnel réduit, qui produit peut-être autant que l'Observatoire de Paris* »^[16]. C'est assez ironique. Baillaud n'est-il pas un des chantres de l'introduction des modes d'organisation « industriels » en astronomie^[17] ? Sur ce terrain, donc, le statut d'exemplarité de l'Observatoire national est sérieusement altéré.

L'Observatoire de Paris parie sur les programmes internationaux en attendant des jours meilleurs. Baillaud garde à l'esprit l'idée du transfert des instruments de l'établissement vers un lieu plus propice aux travaux d'astronomie

moderne. En 1924, le directeur constate « *l'influence pernicieuse de la Ville* »^[18]. Déjà en 1909, il défend le projet rédigé par le contre-amiral Mouchez vingt-cinq ans plus tôt et fait constituer une commission pour réaliser celui-ci^[19]. Sans succès. La modernisation de l'Observatoire apparaît inexorable. Elle mène cependant à un dilemme pratique. Ou bien les astronomes quittent la capitale^[20], ou bien ils se font une fois pour toutes à l'astronomie en milieu urbain. Délocalisation définitive ou agonie dans le sanctuaire Perrault. Ces deux options ne sont alors pas contrebalancées par une tierce possibilité. C'est dans cette problématique complexe que la question de la Carte du Ciel se trouve emmêlée. Au début des années 1920, le programme entre dans une phase *critique*. L'institution qui en a guidé l'exécution aussi. Et la pertinence scientifique de la Carte et la légitimité institutionnelle de l'Observatoire de Paris perdent de leur évidence à l'issue de ces débats.

Un rendez-vous manqué : le projet avorté d'un Laboratoire de statistique stellaire

À la tête du Service de la Carte à l'Observatoire de Paris, Jules Baillaud tente de relancer le programme après le départ en retraite de son père Benjamin. La courte direction de Deslandres (1927-1929) n'y fait pas obstacle. Au contraire, le projet de transfert des instruments à Meudon, désormais associé à Paris, libère des locaux pour des services de calculs et des laboratoires de physique^[21]. La phase d'exploitation peut dès lors débiter. Cependant, Baillaud attire l'attention en 1925 sur le fait que les lignes du réseau s'effacent sur certaines plaques^[22]. La précision des mesures risque d'en pâtir. Les employés chargés de la réduction sont astreints à des procédures de détermination pas tout à fait « objectives ». Et les appareils Gautier n'y font rien. Quelques années après les premières prises de clichés, les astronomes reconnaissent que la conservation des plaques n'est pas optimale – un problème que le Comité permanent avait semble-t-il sous-estimé^[23].

À Paris, Baillaud s'adjoint les services d'un astronome-adjoint, Henri Mineur. Les travaux de mécanique céleste et de statistique stellaire de ce dernier s'inscrivent dans la continuité de la « *seconde phase* » du programme. Les données compilées dans les catalogues à paraître sont notamment destinées à alimenter ce type de recherches^[24]. Pour autant, Baillaud et Mineur sont conscients des limites internes des documents que les observatoires participants publieront dans les années à venir. L'exploitation des catalogues de position implique un

ajustement préalable. C'est ce point de vue que les deux astronomes comptent défendre lors de la troisième réunion du Comité National Français d'Astronomie (CNA)^[25], qui se tient en juillet 1931.

L'assemblée se réunit à l'Observatoire de Paris. C'est la première fois que l'ensemble des membres du monde des observatoires^[26] est convié à discuter de l'administration de l'astronomie française. L'optimisme n'est pas de rigueur. Le travail de la commission des observatoires dix ans plus tôt s'est avéré improductif ; le constat dressé demeure sombre. Ainsi, l'astrophysique peine à progresser faute de crédits. Le CNA enjoint l'Administration de fournir aux astronomes les moyens nécessaires à la science moderne, notamment la création de laboratoire de spectroscopie et de photométrie ainsi que la fabrication de télescopes puissants^[27]. La commission IX, baptisée « *Étude de l'univers stellaire et Carte du Ciel* », expose également ses doléances. Baillaud pose les termes de la discussion dans son rapport : « *Après 40 années consacrées à l'exécution de la Carte (...), dans une période de pleine évolution pour l'astronomie, peut-on considérer que l'œuvre doit être continuée comme les promoteurs l'avaient conçue ? Comment doit-on la développer ? Comment peut-on tirer partie des documents qu'elle fournit ?* »^[28]. Pour l'astronome, il est indubitable qu'en dépit de ses défauts, le programme mérite d'être prolongé : « *Les planches de cuivre de la Carte du Ciel resteront toujours le fondement de l'astronomie sidérale* »^[29]. Mais il rappelle qu'il est impératif d'améliorer la qualité des plaques. Comment ? Eh bien, simplement, en réalisant une « *nouvelle série de clichés* »^[30] tout en s'attelant à la « *réfection* » des données déjà produites et stockées par les observatoires participants. Pour ce faire, il convient de se doter d'un nouvel équatorial capable d'enregistrer précisément les données photométriques. Baillaud souligne en outre que la détermination des mouvements propres est un des objectifs premiers à atteindre – c'est en effet le matériau privilégié des recherches de statistique astronomique. Il s'agit donc d'équiper les services des machines de comparaison et des photomètres les plus perfectionnés.

Baillaud s'en remet à l'expertise de Mineur pour l'énoncé des lignes directrices d'un programme de développement – de sauvetage, plutôt. Les documents de la Carte couvrent l'univers sidéral dans sa totalité. L'utilisation de ces données est donc un enjeu scientifique majeur. C'est pourquoi, selon Mineur, « *l'œuvre commencée doit être continuée* ». Par conséquent, il convient de « *fixer un programme de recherches* », s'inspirant « *non seulement des besoins de l'astronomie stellaire, mais aussi du travail déjà accompli et des instruments déjà existants* »^[31].

Certes, Mineur insiste dans son rapport sur les faiblesses de la Carte. En particulier, il fait remarquer que les magnitudes des étoiles sont « *mauvaises* ».

Mineur ménage sa réception. Il veut que soit créé à Paris un laboratoire de « *statistique astronomique* » dont il assumerait la direction. Cette entité est déjà partiellement organisée. Depuis 1930, en effet, Mineur enrôle des étudiants de la Faculté des sciences pour travailler à la constitution d'un Fichier sur les amas stellaires. Le directeur virtuel entend simplement donner plus de réalité à ce « centre de documentation ». Le long rapport qu'il présente au CNA officialise la demande qu'il a faite à Ernest Esclangon, le directeur de l'Observatoire. Mineur ne doute pas de l'intérêt que son supérieur témoigne à ces recherches. Esclangon considère, en effet, que le fichier serait un « *outil de premier ordre* »^[32]. Le projet de Mineur implique à brève échéance une orientation des recherches vers l'astronomie galactique (son objet privilégié est alors la rotation de la Voie lactée). Le Laboratoire serait rattaché au Service de la Carte^[33]. Entre tradition et modernité, Mineur mise ici sur un programme quarantenaire qui fait de moins en moins l'unanimité dans la communauté. Faire du neuf avec du vieux, continuer à exploiter les équatoriaux photographiques des frères Henry, éventuellement installer une succursale en Provence, là où d'autres projettent d'établir un observatoire d'astrophysique.

Cependant, malgré l'agrément public d'Esclangon, le projet n'aboutit pas. Il semble que les crédits manquent autant que la bonne volonté. Le directeur retire même à son subordonné une de ses calculatrices^[34]. C'en est trop pour l'adjoint, qui perd patience. Et qui, faute de diplomatie, cumule les erreurs stratégiques jusqu'à susciter l'inimitié d'une partie de ses collègues et des instances décisionnaires^[35]. Au printemps 1932, la situation est tendue. Mineur démissionne de la Commission IX et décide de ne pas se rendre au congrès de l'UAI qui doit avoir lieu à Cambridge (Massachusetts). Il tente de nouveau d'imposer son projet en juin. En vain. Estimant qu'il n'est pas soutenu, l'astronome décide de quitter le Service en 1933. Il est alors rattaché au Service d'astrophysique dirigé par Pierre Salet^[36]. Exit la Carte. Baillaud est esseulé dans un service où la majorité des personnels rattachés est composée d'auxiliaires que la rotation de la Voie Lactée et la dynamique des amas stellaires indiffèrent. Le différend entre Mineur et Esclangon n'est pas anecdotique. Le départ de l'astronome fait surgir avec d'autant plus de gravité la question de l'exploitation des documents. À l'Observatoire, on s'avoue démuné.

« Des documents pour les siècles à venir ». De l'exécution à la patrimonialisation

Les discussions de 1931 sont relayées auprès des instances internationales. Dès 1919, le Comité permanent est dissous dans l'UAI tout comme l'Union pour la recherche solaire. La Commission 23 de la Carte du Ciel reprend le témoin. Après l'interruption due à la Guerre, les observatoires participants tentent d'achever le travail. Certains quittent le navire (*e.g.* Potsdam). D'autres, comme Greenwich, ont déjà publié les catalogues de positions rectilignes et entreprennent l'édition des travaux sur les mouvements propres dans les années 1920. L'avancement des observatoires français n'est pas uniforme. Les opérations de réduction, l'établissement des catalogues des étoiles de repères et la détermination des mouvements propres ne sont pas terminés. Les astronomes l'expliquent par les difficultés budgétaires des établissements, surtout en province. Les rapports de Baillaud et Mineur démontrent qu'au début des années 1930, une certaine confusion règne. Si des données sont déjà imprimées, on doute de leur valeur.

Le Congrès de l'UAI de 1935 se tient à Paris. Esclançon, *chairman* de la Commission 23, souligne que le travail est loin d'être achevé. Certains astronomes évoquent l'éventualité d'une nouvelle campagne photographique avant l'impression du catalogue définitif. L'opinion suivant laquelle le programme mérite d'être *recommencé* est de plus en plus partagée. Le programme souffre ici la comparaison avec le *Plan of Selected*, également constitué en Commission (32) depuis le Congrès de l'UAI à Cambridge en 1932^[37]. Les *Selected Areas* regroupent l'ensemble des observatoires qui partagent les « *aires de Kapteyn* »^[38]. La liste est prestigieuse. En Amérique, le programme astrométrique initié par Jacobus Kapteyn^[39] en 1906 fait florès : les observatoires de Harvard College, le Mont Wilson, Yerkes publient entre les années 1910 et 1930 des catalogues de magnitudes photographiques, de types spectraux, de mouvements propres, de parallaxes et de vitesses radiales correspondant à certaines aires des *Selected Areas*. En Europe, Greenwich, Bonn et Potsdam s'y investissent également. À la différence de la Carte, les *Selected Areas* sont bien plus *explicites* au sujet de l'exploitation des données^[40]. Les observations servent la statistique stellaire. C'est en effet par ces données que les astronomes traitent le « *problème sidéral* », dramatisé en 1920 à l'occasion du « *Great debate* »^[41] sur la distance des « *nébuleuses* » (que l'on observe en spectateur depuis la France). Ces entreprises sont au moins aussi fastidieuses que la complétion de la Carte. Pourtant, la Commission 32 des *Selected Areas* annonce en 1935 que les investigations systématiques des objectifs les plus cruciaux

– c’est-à-dire les mouvements propres – sont terminées. De sorte que le travail des statisticiens en est facilité (e.g. Eddington, Hertzsprung, Lundmark, Mineur, Oort, Pannekoek, Russell, Seares, Strömberg, van Maanen, van Rhijn...)^[42].

Cela n’impressionne pas Baillaud. Convaincu de l’utilité de la Carte, il propose un « *programme* » pour les activités à entreprendre au Service à partir de l’année 1937^[43]. À quelques exigences près, il actualise le rapport de Mineur de 1931. Il souligne surtout l’importance de la mesure des mouvements propres de *toutes* les étoiles des zones de la Carte. Pour la « *seconde partie de la Carte* », l’Observatoire de Paris, parce qu’il est « *moralement obligé de continuer à donner l’exemple* », est d’ailleurs appelé « *à faire le maximum* »^[44]. C’est pourquoi Baillaud souhaite que l’établissement acquière des instrumentaux en conséquence (e.g. photomètres, stéréocomparateurs), sans compter, cela va de soi, les personnels qualifiés en nombre suffisant. Mais c’est là que le bât blesse. La Carte ne tient alors qu’à un fil. L’Observatoire de Paris puise dans des budgets « temporaires » pour rétribuer les auxiliaires attachés au service. Le travail d’exploitation est continuellement repoussé au lendemain, faute d’exploitant.

À l’occasion de la réunion de l’UAI à Stockholm, en 1938, Baillaud décide de poser les termes du problème de façon radicale. Il n’est pas tendre à l’égard du Comité permanent, dont les résolutions en matière d’instrumentation sont critiquables rétrospectivement. Il n’est plus alors question de savoir s’il est légitime de continuer l’« Œuvre », mais plutôt de trouver le meilleur *compromis* scientifico-institutionnel pour la recommencer correctement, c’est-à-dire en conformité avec les exigences scientifiques du moment : « *depuis 50 ans la science a singulièrement progressé ; il y a lieu d’examiner quelles sont les parties du programme qu’il faut poursuivre, et quelles sont celles dont l’intérêt est devenu secondaire et qui peuvent être abandonnées au profit d’autres travaux plus féconds* »^[45]. Président de la Commission 23, il fait parvenir à un certain nombre de spécialistes (notamment Spencer Jones, P.J. Van Rhijn, Jan Oort, Henry N. Russell) une circulaire l’année précédant le Congrès. Il sollicite leur avis sur une série de questions. À l’exception du directeur de l’observatoire de Sydney, *tous* les astronomes saisis par Baillaud s’accordent quant à l’utilité du programme. Mais pas à n’importe quel prix. Henry Russell, notamment, pense que les instruments utilisés à l’origine, quoique « *excellents* » à l’époque, ont été « *surpassés* » par d’autres dispositifs, en particulier ceux utilisés par les observatoires participants aux *Selected Areas*. Pour l’astronome de Princeton, il apparaît donc indispensable de revoir intégralement le problème de l’enregistrement des clichés^[46]. Non seulement les derniers observatoires

impliqués doivent procéder à une nouvelle série de clichés, mais en plus il faut que les plaques recueillies soient maintenues dans de meilleures conditions. À ce sujet, Baillaud remarque que seules les plaques au gélatinobromure de l'Observatoire de Paris sont en mauvais état de conservation^[47].

Les astronomes sont pris dans un cercle vicieux. Un point qui touche au cœur du projet : s'il est nécessaire de prendre de nouveaux clichés à chaque perfectionnement instrumental pour mesurer les mouvements propres, alors les observateurs sont condamnés à *recommencer continuellement* la Carte. Ce qui n'effraie pas, du reste, le directeur de l'observatoire de Perth, qui souligne qu'« *on peut dire qu'on aura toujours (sic) besoin d'une commission consacrée à ce but : faire la Carte et la refaire suivant les derniers progrès* »^[48]. Le complexe de Sisyphe de l'astronomie de position force l'éternel retour du même... Au terme de ces débats, la Commission avoue une relative impuissance. Elle clôt son *meeting* par l'adoption d'une résolution significative. Baillaud demande expressément que les membres de la Commission nouent des relations plus étroites avec les astronomes des Commissions des mouvements propres, des *Selected Areas* et de la photométrie stellaire^[49]. Autant dire que la Carte est obligée à moyen terme de se conformer à des protocoles expérimentaux qui lui sont étrangers. Et signer ainsi son arrêt de mort symbolique.

Sur le plan financier, c'est par l'intermédiaire de la Caisse Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS) contrôlée par le physicien Jean Perrin que le programme français parvient à survivre à partir de 1936. Le nouvel organisme alloue des crédits pour l'achat du matériel auquel Baillaud fait mention dans son rapport. Outre ces provisions, la CNRS règle – au moins provisoirement – l'épineux problème de la rémunération des auxiliaires. Tandis que les astrophysiciens s'investissent dans la construction du Service d'astrophysique de la CNRS créé en octobre 1936^[50], la politique d'aide aux études astronomiques contribue de façon significative au budget l'Observatoire de Paris et des observatoires des départements (Alger, Bordeaux, Toulouse). De 1936 à 1940, la CNRS (devenue le CNRS en 1939^[51]) consacre ainsi une partie importante de ses dépenses à la « *publication* » de la Carte du Ciel^[52]. Peu importe les « *faiblesses* » signalées par différents experts, l'administration de la Recherche considère qu'il est temps d'achever le programme.

Soulignons que le budget est revu à la hausse tous les ans, sans que cela ne soulève d'opposition au niveau de l'administration de la CNRS. En 1936,

la somme des dépenses consacrées au programme s'élève à 178 000 francs. Cela comprend, en tout, le financement des travailleurs, l'achat et l'entretien du matériel, l'héliogravure (par la Maison Schutzeuberger), l'expédition des catalogues provisoires. À Paris, quatre auxiliaires sont employées au Service. La polyvalence de ces personnels est réduite *de facto*. Leur affectation aux calculs et aux opérations de réduction est exclusive. Les calculatrices cumulent chacune en moyenne 200 heures de travail mensuelles^[53]. Cette équipe rémunérée par la Caisse est composée environ d'une quinzaine de personnes. C'est peu, d'autant qu'aucun astronome ne contribue à l'exception de Baillaud. Par ailleurs, le budget s'élève à 188 000 francs en 1937. Il plafonne à 203 000 francs deux ans plus tard. Les frais des observatoires de province liés au programme sont donc pris en charge par l'administration de la Caisse^[54]. Mis en difficulté suite à la création du Service d'astrophysique, Esclangon paraît s'accommoder de l'ingérence de la CNRS. Chaque année, il rédige une note à l'attention du ministre de l'Éducation nationale dans laquelle il estime le montant des frais à engager pour l'exercice à venir. En 1938, il demande même que le nombre d'employés augmente à Paris, les « *quatre dames* » du Service ne parvenant pas à suivre la cadence^[55]. Il est significatif de constater que, dans les *Rapports annuels* de 1937 à 1940, il n'est fait à aucun moment mention du concours de la CNRS. Tout au plus Esclangon signale de façon laconique – et anachronique – l'aide de la « *Caisse nationale des Sciences* »^[56]. En revanche, c'est avec gravité et indignation qu'il évoque l'usurpation de la « *Recherche scientifique* », « *qui s'est fait[e] concéder le terrain [longeant le boulevard Arago, destiné au Laboratoire d'Astrophysique de la CNRS] pour son propre compte* »^[57]. Peut-être l'augmentation constante et toujours justifiée des dépenses atteste-t-elle de l'existence d'un contrat tacite entre le directeur et la Recherche scientifique. Et Esclangon ne perd pas de vue non plus le projet de succursale de ses prédécesseurs. La construction de l'Observatoire à Saint-Michel (Basses-Alpes, aujourd'hui Alpes-de-Haute-Provence) donne à penser que, parallèlement à l'achèvement de la Carte, l'Observatoire (national) de Paris est en droit de s'appropriier l'établissement. Ce faisant, le directeur n'a pas mesuré l'ampleur de la transformation institutionnelle qui a conduit à la création d'un Service d'astrophysique *indépendant* de l'Observatoire. La critique de la centralisation administrative de l'astronomie que la Carte révèle dans les années 1920 en est au même point. Simplement, la centralisation *par* l'Observatoire de Paris est compensée par l'émergence d'une organisation des recherches – l'astronomie du CNRS – tout aussi enracinée dans l'environnement parisien.

Conclusion

La Carte a-t-elle précipité en France la faillite de l'astronomie en général, de l'astrophysique en particulier ? Ou à l'inverse, est-elle, par-delà sa réalisation erratique, un programme d'une grandeur telle qu'il est, aujourd'hui encore, l'expression d'un courage scientifique digne d'éloges rétrospectives ? S'agit-il d'un « échec » ?, d'un « demi-échec » ? Soit, sur cette question, il convient de prendre parti. Qu'on soit astronome ou historien, d'ailleurs. D'un côté, la réhabilitation contemporaine du patrimoine scientifique ; de l'autre, le rejet inconditionnel d'une entreprise condamnée à la faillite. Dans les deux cas, les jugements de fait ne sont pas sans impliquer des jugements de valeur^[58]. Force est de constater qu'il est pour le moins délicat de trancher dans les débats. Ainsi, pour l'astronome Charles Fehrenbach, « *la Carte du Ciel est certainement une des causes profondes du retard de l'astrophysique en France* »^[59]. Dans le domaine de l'histoire de l'astronomie, les interprétations divergent peu. Si l'effet positif de l'entreprise sur l'internationalisation de l'astronomie est valorisé, les historiens ne passent pas sous silence les conséquences jugées désastreuses du surinvestissement de certaines nations astronomiques, au premier rang desquelles la France. Parce que *tous* les moyens financiers ont été absorbés par la Carte, les recherches émergentes les plus « intéressantes » – en astrophysique, bien sûr – n'ont pu être développées^[60]. Pour certains commentateurs, de surcroît, le fait que les observatoires de l'Amérique ne s'engagent pas dans le programme explique en partie leur progressive ascendance. Le Vieux Continent, dans le même temps, poursuit frénétiquement « *un travail qui ne se terminera jamais* » (Millochau)^[61]. Il n'est alors plus qu'à utiliser des arguments *culturels* pour donner sens à une politique tout simplement « irrationnelle » – d'invoquer, par exemple, la « mentalité » conservatrice de la communauté.

Certes, le constat d'une perte de vitesse dans le domaine de l'astrophysique française de 1918 à 1940 est *relativement* fondé^[62]. Cependant, ce constat ne couvre pas l'intégralité des recherches effectuées en France. Il convient d'identifier les indicateurs objectifs les plus appropriés. À l'époque, l'astrophysique n'est qu'une des nombreuses composantes de l'astronomie. Affirmer que l'astronomie chute parce qu'elle ne s'est pas assez rapprochée de la « physique » – et pas n'importe laquelle : la Nouvelle – relève d'une histoire contre-factuelle et rétrospective qui ne saisit pas la complexité de la culture épistémologique et matérielle de la discipline. En outre, il faut encore distinguer les *causes* des *symptômes*. L'énoncé suivant lequel la Carte a *causé* la perte de l'astronomie française pêche

par trop de simplicité. Le premier développement de l'étude met en évidence les enjeux institutionnels de la poursuite de la Carte dans le contexte de la « crise » des années 1920. La Carte est alors un pion que les astronomes partis prenants des débats sur le relèvement des études astronomiques déplacent sur un échiquier composé d'une multitude de pièces. La critique de la Carte est un des coups possibles^[63]. Il faut préciser de plus que la « *déchéance* » (Baillaud) de l'astronomie française est relative. Certaines recherches attirent l'attention à l'étranger. En physique solaire, l'intérêt porté sur le coronographe de Bernard Lyot en est l'exemple^[64]. C'est bien plutôt au niveau de l'organisation socio-institutionnelle du champ astronomique qu'il faut enquêter. C'est un thème classique de la sociologie des sciences, ben-davidienne notamment. C'est l'absence de cohérence du dispositif des observatoires d'État – un assemblage intenable – qui explique pour partie une forme de déclin dans certains domaines astronomiques. Si les astronomes français ont continué les recherches d'astrométrie et soutenu la chronométrie, il n'empêche qu'ils étaient convaincus de l'importance des travaux d'astrophysique. En fait, c'est la tension problématique entre la centralisation incorrigible des institutions astronomiques de la Troisième République – pilotées depuis l'« *Observatoire national* » et l'Académie des sciences – et l'inexorable spécialisation de la discipline qui rend compte de ces mouvements ambivalents et incertains^[65]. C'est ce que met en lumière l'administration erratique de la Carte du Ciel qui, finalement, apparaît comme un analyseur historiographique heuristique de ces recompositions.

Références

- [1] Gaston Millochau, Notes, *Bulletin de l'Association amicale du personnel scientifique des observatoires français*, n° 7, avril 1913, p. 10.
- [2] Correspondance, *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*, T. 170, 1920, pp. 1150-1151.
- [3] Archives Nationales, (AN), F¹⁷ 13576, Rapport relatif à la sixième réunion du Congrès international de la Carte photographique du Ciel à l'Observatoire de Paris du 19 au 23 avril 1909 adressé à M. le ministre de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts, par M. B. Baillaud, 1^{er} juillet 1909.
- [4] Cf. Ileana Chinnici, *La Carte du Ciel. Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Paris, Observatoire de Paris, Vatican, Osservatorio di Palermo, 1999, pp. 451-542.

- [5] Y sont représentés tous les observatoires placés sous la tutelle de l'État : Alger, Besançon, Bordeaux, Lyon, Marseille, Meudon, Nice, Paris, Strasbourg, Toulouse.
- [6] AN F¹⁷ 13572, Henri Deslandres au ministre de l'Instruction Publique.
- [7] AN F¹⁷ 13572, Onzième séance du 12 juillet 1920, Procès-verbal des réunions de la commission des observatoires constituée par l'Académie des sciences.
- [8] AN F¹⁷ 13572, Lettre d'Émile Picard au ministre de l'Instruction Publique.
- [9] AN F¹⁷ 13573, Rapport sur l'inspection des observatoires français décidée par l'ordre ministériel du 29 avril 1922 et confiée à M. H Deslandres.
- [10] *Ibidem*, Onzième séance du 12 juillet 1920.
- [11] Henri Deslandres, *Sur l'amélioration des études astronomiques en France*, Orléans, Imprimerie Henri Tessier, 1926, p. 6.
- [12] L'Observatoire du mont Wilson est plus qu'un *analogon* organisationnel. C'est bien plutôt le levier d'une critique de l'économie morale et politique de l'astronomie d'État. Dans l'esprit de certains réformateurs, parmi lesquels Deslandres, la relative « libéralité » des institutions astronomiques de l'Amérique s'oppose en bloc à la bureaucratie administrative du ministère de l'Instruction Publique.
- [13] Benjamin Baillaud, « L'Astronomie », in *La science française, Exposition universelle et internationale de San Francisco*, Paris, ministère de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts, Tome 1, 1915, p. 113.
- [14] Henri Deslandres, *ibidem*, p 4.
- [15] Les griefs sont nombreux : notamment, les traitements sont plus élevés à Paris, aucun astronome titulaire n'a été nommé en province, les décisions sont prises unilatéralement depuis Paris sans consultation préalable.
- [16] Séance du 13 avril 1921, Conseil des Observatoires, AN F¹⁷ 13573.
- [17] Cf. Jérôme Lamy, *Archéologie d'un espace savant. L'Observatoire de Toulouse aux XVIII^e et XIX^e siècles : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, Thèse de doctorat, EHESS, 2004, chap. VIII.
- [18] Benjamin Baillaud, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1923*, Paris, Imprimerie nationale, 1924, p. 16.
- [19] Le transfert en dehors de Paris est évoqué déjà par Jean-Baptiste Biot en 1832. Urbain Le Verrier, dans la même veine, plaide en faveur d'une délocalisation en 1854. L'intégration de l'observatoire dans l'espace urbain suscite des controverses sans fin à l'intérieur du monde astronomique. Dans la recherche de l'emplacement idéal, les arguments « scientifiques » (e.g. conditions climatologiques, éloignement des activités industrielles parasites et des lignes de chemin de fer, etc.) et les considérations *politiques* (e.g. prestige de l'observatoire national, proximité des lieux de pouvoir et des grandes Écoles) s'entremêlent invariablement. Cf. David Aubin, « The fading star of the Paris observatory in the nineteenth century : Astronomers' urban culture of circulation and observation », *Osiris*, Vol. 18, 2003, pp. 79-100.

- [20] Parmi les emplacements évoqués, le Parc de Sceaux, dans les Hauts-de-Seine.
- [21] Deslandres veut reprendre le mode d'organisation du mont Wilson, combinant les laboratoires et ateliers de Pasadena et l'observatoire de montagne. Henri Deslandres, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1927*, Paris, Imprimerie nationale, 1928, p. 9.
- [22] Jules Baillaud, Abel Pourteau, « Méthode de mesure applicable à l'étude de clichés stellaires sur lesquels l'image du réseau est défectueuse », *Journal des Observateurs*, 1925, Vol. 8.
- [23] Et au premier chef Benjamin Baillaud, qui peut affirmer en 1922 que « les 2,500 plaques de cuivre (...) qui s'accumulent dans une de nos armoires constitueront pour l'avenir un des legs inestimables auquel rien n'est comparable historiquement que les inscriptions laissées, il y a plusieurs milliers d'années, qui nous renseignent sur les civilisations antiques ». C'est peu dire que le Directeur voit loin. Benjamin Baillaud, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1921*, Paris, Imprimerie nationale, 1922, p. 9.
- [24] L'objectif de l'étude de la constitution de « l'univers visible » et de la distribution des étoiles dans l'espace est explicitement assigné en 1887. Cf. Ernest Mouchez, *La photographie astronomique à l'Observatoire de Paris et la Carte du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1887, p. 6.
- [25] Participant de la réorganisation des observatoires initiée dans les années 1920, le CNA est chargé d'orienter et de coordonner les études astronomiques. Cette instance fait l'interface entre les échelles nationale et internationale. En quelque sorte, elle traduit en France les orientations scientifiques décidées à l'UAI ; inversement, le CNA fait valoir les projets français à l'étranger. Des commissions sont organisées, qui toutes portent sur un domaine particulier, telles les études solaires ou les missions scientifiques. Enfin, le CNA est composé du personnel scientifique des observatoires d'État, astronomes et géophysiciens confondus, ainsi que de représentants de l'astronomie « libre ».
- [26] Tout le monde n'a certes pas droit de cité. Ainsi, à quelques exceptions près, les aides-astronomes et les personnels auxiliaires n'y sont pas représentés.
- [27] Séance de clôture, *Comité national d'astronomie des 21-22-23 juillet 1931*, Laval, Imprimerie Barnéoud, 1931.
- [28] Jules Baillaud, « Rapport sur la Carte du Ciel », *ibidem*, p. 106.
- [29] *Ibidem*, p. 110.
- [30] *Ibidem*, p. 108.
- [31] Henri Mineur, *Rapport de la Commission d'étude de l'univers stellaire* – Président : Ernest Esclangon ; Rapporteur : Henri Mineur –, Réunion des astronomes français, juillet 1931, Comité National d'Astronomie, manuscrit de la conférence. Archives de l'Observatoire de Paris (AOP) Ms 1074.

- [32] Ernest Esclangon, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1930*, Paris, Imprimerie nationale, 1931, p. 22.
- [33] Le *Rapport* de 1931 démontre, sans équivoque possible, l'intégration de la statistique au programme du Service : « *Les travaux [du Service de la Carte du Ciel] comprennent : la publication des feuilles de la Carte ; le catalogue d'étoiles de repère par raccordement ; la recherche des mouvements propres ; le catalogue d'étoiles doubles de la zone de Paris et de la Carte du Ciel ; les recherches très variées d'astronomie stellaire exécutées sous l'inspiration et la direction de M. Mineur ; des recherches diverses* ». Ernest Esclangon, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1931*, Paris, Imprimerie nationale, 1932, p. 22.
- [34] AOP, Ms 1074, Lettre d'Henri Mineur à Jules Baillaud, 23 mai 1932.
- [35] Ainsi, Mineur tente d'imposer au Conseil de l'Observatoire de Paris son projet en contournant Esclangon. Démarche unanimement condamnée par les membres du Conseil (AN F⁷ 13578, Séance du 14 juin 1932, Conseil de l'Observatoire de Paris). De même il confie deux ans plus tard à Jacques Cavalier, Directeur de l'Enseignement supérieur, qu'il est l'objet de « *brimades* » depuis son entrée à l'Observatoire (Dossier d'Henri Mineur, Bureau des archives du CNRS, Lettre d'Henri Mineur à Jacques Cavalier, 20 août 1933).
- [36] Ernest Esclangon, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1933*, Paris, Imprimerie nationale, 1934, p. 23.
- [37] Andrew Blaauw, *History of the IAU. The Birth and First Half-Century of the International Astronomical Union*, Dordrecht, IAU/Kluwer, pp. 81-82.
- [38] David H. DeVorkin, « Internationalism, Kapteyn and the Dutch Pipeline », in P.C. van der Kruit, Klaas van Berkel, *The legacy of J. C. Kapteyn. Studies on Kapteyn and the development of modern astronomy*, Dordrecht, Kluwer, 2000.
- [39] Kapteyn fait partie de la première génération des astronomes de la Carte. Sans instrument à Groningen, il est bien heureux de pouvoir s'impliquer dans le Comité permanent. Cependant, ses espoirs sont déçus à plusieurs reprises. Notamment, les Français préfèrent la machine à réseau de leur invention à l'appareil de mesure dessiné par Kapteyn. Il se désengage progressivement de la Carte et lance, en 1904, l'idée du *Plan of Selected Areas*. Le programme présente l'immense avantage d'emporter l'adhésion des Américains, de George Hale en particulier. Cf. David DeVorkin, *art. cit.*, p. 134 sq.
- [40] Dieter Herrmann, *The History of Astronomy from Herschel to Hertzsprung*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984 [1^{re} ed. 1973], p. 138.
- [41] Cf. Robert Smith, *The Expanding Universe. Astronomy's « Great Debate »*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.

- [42] Bertil Lindblad, Rapport de la Commission des *Selected Areas*, *Transactions of the International Astronomical Union. Fifth General Assembly 1935*, Cambridge, Cambridge University Press, vol. V, 1936, p. 199 sq.
- [43] Jules Baillaud, « Programme proposé pour le Service de la Carte du Ciel », in Ernest Esclangon, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1936*, Paris, Imprimerie nationale, 1937, p. 21 sq.
- [44] *Ibidem.*, p. 25.
- [45] Jules Baillaud, « Rapport de la Commission 23 de la Carte du Ciel », *Transactions of the International Astronomical Union. Sixth General Assembly 1938*, Cambridge, Cambridge University Press, Vol. VI, 1939, p. 180.
- [46] *Ibidem*, p. 185.
- [47] *Ibidem*, p. 201.
- [48] *Ibidem*, p. 183.
- [49] *Ibidem*, p. 405.
- [50] Ce Service est composé de deux entités : d'une part, un Laboratoire de traitement, dont l'installation est prévue sur les terrains Arago de l'Observatoire de Paris ; d'autre part, un observatoire, dont la construction est attendue de longue date. Soulignons que c'est à Mineur qu'est confiée la direction du Laboratoire, qu'il destine principalement aux études d'astronomie stellaire. À terme, il aura finalement obtenu gain de cause, quitte à entrer en conflit ouvert avec son directeur. Sur les premières heures du Service d'astrophysique, cf. Philippe Véron, « Préhistorie de l'Observatoire de Haute-Provence », in *Observatoires et patrimoine astronomique français*, Guy Boistel (ed.), in *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n° 58, 2005, Arnaud Saint-Martin, « Les cerveaux, les télescopes et le village scientifique. Construction d'un dispositif de recherche en astrophysique », *Terrains & Travaux*, 2006, n° 11.
- [51] Cf. Jean-François Picard, *La République des Savants*, Paris, Flammarion, 1990.
- [52] Nous avons épluché l'ensemble des Bordereaux détaillés des Mandats délivrés sur la caisse de la CNRS pour cette période (AN F¹⁷ 17478).
- [53] Le travail rémunéré à l'heure au tarif de 4 francs en moyenne. Cela constitue une légère augmentation par rapport aux exercices du début des années 1930.
- [54] Des Directeurs profitent de cette manne pour réorienter les fonds. Ainsi l'observatoire d'Alger règle ses factures d'eau et d'électricité par ce biais. Ce que, bien sûr, l'administration ne tarde pas à débusquer.
- [55] AN F¹⁷ 17478, Lettre d'Ernest Esclangon à M. l'Administrateur de la CNRS (Lecouturier), 11 juin 1938.
- [56] Ernest Esclangon, *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1939*, Paris, Imprimerie nationale, 1940, p. 7.
- [57] Voir note précédente.

- [58] Cela revient à supposer, par exemple, que l'astrophysique aurait mérité davantage d'investissement pendant l'entre-deux-guerres. Cf. D.H.P. Jones, « Was the Carte du Ciel an Obstruction to the Development of Astrophysics in Europe ? », in André Heck (ed.), *Information Handling in Astronomy - Historical Vistas*, Dordrecht, Kluwer, 2002, pp. 267-271.
- [59] Charles Fehrenbach, *Des hommes, des télescopes, des étoiles*, Paris, CNRS, 1990, p. 23.
- [60] C'est par exemple l'avis de John B. Hearnshaw, *The measurement of Starlight. Two Centuries of Astronomical Photometry*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, pp. 141-142.
- [61] Cette perspective comparatiste en termes de « styles de recherche nationaux » est défendue par John Lankford, *American Astronomy. Community, Careers, and Power, 1859-1940*, Chicago, Chicago University Press, p. 394 sq.
- [62] Cf. James Lequeux, *L'Univers dévoilé. Une histoire de l'astronomie de 1910 à aujourd'hui*, Paris, EDP Sciences, 2005, pp. 27-30.
- [63] À la rigueur, les astronomes auraient pu mettre en question l'investissement des observatoires dans les travaux de chronométrie, qui justifiaient pour une grande part l'existence de ces établissements.
- [64] Karl Hufbauer, « Artificial Eclipses : Bernard Lyot and the coronagraph, 1929-1939 », *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 24, part. 2, 1994.
- [65] Ce débat sur la centralisation des institutions astronomiques est bien analysé par Laetitia Maison, *La fondation et les premiers travaux de l'observatoire astronomique de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Bordeaux 1, 2004.

LA CARTE DU CIEL VUE DE POTSDAM

Charlotte BIGG

Max-Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin

Introduction

La Carte du Ciel, probablement l'entreprise astronomique la plus ambitieuse de la fin du XIX^e siècle, qui comptait produire, par la collaboration de 18 observatoires, une carte photographique complète du ciel étoilé jusqu'à la 14^e magnitude, reste à ce jour assez mal connue des historiens de l'astronomie comme de l'histoire des sciences plus largement. Si l'on excepte quelques brèves études à caractère général et un premier dépouillement partiel de la correspondance conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris^[1], l'histoire de la Carte du Ciel reste à écrire. Ceci est d'autant plus vrai en ce qui concerne la participation des observatoires partenaires du projet, la plupart des études dont nous disposons étant largement focalisées sur l'Observatoire de Paris, le cœur névralgique de l'entreprise durant toute son existence^[2].

Une étude plus complète et approfondie de la Carte du Ciel devra cependant prendre en compte le rôle joué par chacun des observatoires participants, concernant lesquels il existe de nombreuses sources archivistiques encore inexploitées. Ces travaux permettront en premier lieu d'éclaircir les circonstances locales de la participation des observatoires « périphériques ». Le financement

de la Carte du Ciel étant décentralisé, les configurations locales ont en effet été déterminantes dans les modalités de la participation de chaque observatoire à l'entreprise. De telles études serviront à mettre en évidence les tensions suscitées entre les demandes locales (des bailleurs de fonds, des communautés astronomiques nationales, etc.) et le besoin d'uniformité et de standardisation des outils et des pratiques qu'une collaboration d'une telle ampleur rendait nécessaire ; ainsi que la manière dont chaque observatoire participant a pu (ou non) intégrer ses travaux pour la Carte du Ciel à ses activités en cours et projets à long terme. L'étude des observatoires participant à la Carte du Ciel favorisera par ailleurs la mise en perspective de l'entreprise de Mouchez et du rôle de Paris dans le contexte national et international. Car les astronomes, en particulier à l'étranger, n'ont pas toujours partagé les vues de Mouchez quant à la signification et l'importance de l'entreprise. Ces études devraient enfin contribuer à une évaluation plus fine, basée sur des cas concrets, du rôle de la Carte du Ciel dans le développement de l'astronomie et de l'astrophysique aux ^{xix}^e et ^{xx}^e siècles.

Nous aborderons ici ces thématiques à partir de l'exemple de l'observatoire de Potsdam. Nous examinerons les négociations entre les astronomes allemands, l'État et l'Académie prussienne des sciences qui ont précédé la décision de prendre part à l'entreprise, les travaux effectués à Potsdam et les conflits auxquels ils ont pu donner lieu, ainsi que l'évolution de l'attitude de l'observatoire envers la Carte du Ciel au cours des décennies, y compris son retrait graduel à partir de 1904. Il ne s'agit ici que d'un premier survol qui, nous l'espérons, incitera à des études plus approfondies, que la présence d'archives abondantes justifierait amplement. En sus des documents conservés à l'Observatoire de Paris^[3], une abondante correspondance a été préservée dans le fonds d'archives de l'Observatoire astrophysique de Potsdam à l'Académie des Sciences de Berlin et du Brandebourg^[4]. Celle-ci comprend en particulier de nombreux échanges entre les astronomes de Potsdam et le fabricant d'instruments berlinois Wanschaff, constructeur des réseaux servant à la mesure des clichés de la Carte du Ciel. Les rapports entre l'observatoire de Potsdam et le ministère des Cultes, de l'Instruction Publique et des Affaires Médicales et avec le ministère des Finances sont documentés de façon très précise et complète dans une dizaine de volumes conservés dans les archives de l'État prussien^[5]. Enfin, environ 3 000 clichés originaux de la Carte du Ciel sont conservés à l'Observatoire de Potsdam, qui ont récemment été digitalisés^[6].

Avant d'examiner plus en détail la participation de l'observatoire de Potsdam à la Carte du Ciel, il sera utile de rappeler brièvement les conditions

de la création de l'observatoire et son statut au moment où la Carte du Ciel est lancée.

L'observatoire astrophysique de Potsdam

Selon les acteurs de l'époque, l'observatoire astrophysique de Potsdam doit son existence à deux grands événements : l'unification de l'Allemagne sous égide prussienne avec la proclamation de l'Empire allemand en 1871 ; et la découverte par Gustav Kirchhoff et Robert Bunsen des principes de l'analyse spectrale, à laquelle il faut ajouter les travaux de photométrie instrumentale de Karl Friedrich Zöllner. L'initiative de créer l'observatoire reviendrait à Gustav Spörer, un professeur de lycée passionné de « recherches solaires » (*Sonnenforschung*), qui en 1865 proposa à l'Astronomische Gesellschaft la création d'un observatoire qui leur serait spécifiquement consacré. La suggestion fut reprise par le directeur de l'observatoire de Berlin, Wilhelm Förster, qui soumit au prince héritier Frédéric Guillaume un mémoire recommandant, dans la plus pure tradition humboldtienne, la création d'un « *Institut national pour la physique de la terre et des cieux* », consacré à l'étude des rapports entre les phénomènes solaires et terrestres, en particulier électriques, géomagnétiques et météorologiques^[7]. Le 29 avril 1872 l'Académie prussienne des sciences remit au prince un rapport soutenant cette proposition, élargissant les compétences du nouvel observatoire « *à la pratique de l'astrophysique en général, dont l'étude des apparences de la surface solaire ne constitue qu'une partie* ». L'Académie se prononça cependant pour une séparation des domaines et la fondation d'une institution distincte pour l'étude de la physique tellurique (terrestre)^[8].

La création de l'observatoire astrophysique fut approuvée par le gouvernement impérial et le parlement lors la session d'hiver de 1873-74. Hermann Carl Vogel et Spörer furent immédiatement recrutés comme observateurs, assistés d'Oswald Lohse, et la somme non négligeable de 100 000 marks fut mise à leur disposition pour l'achat d'instruments^[9]. L'observatoire astrophysique fut érigé à proximité de Potsdam, à une vingtaine de kilomètres de la capitale prussienne, sur une colline à partir de laquelle la première ligne de télégraphie optique avait été établie en 1832, non loin de l'observatoire central magnétique-météorologique (inauguré en 1885) et de l'institut géodésique (1891). Il ouvrit ses portes en 1879 (Fig. 5.1).

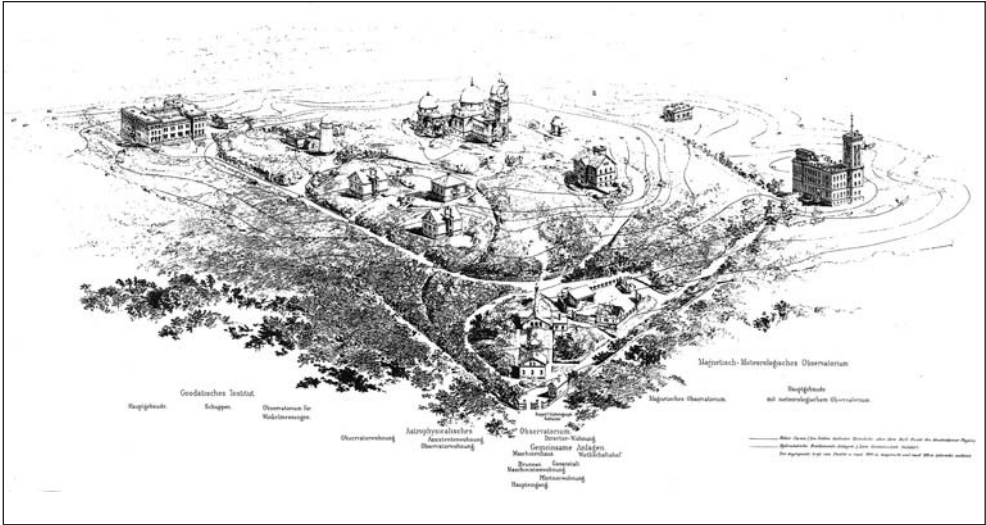


Figure 5.1. Les observatoires royaux sur Telegraphenberg près de Potsdam.
La coupole abritant le réfracteur photographique pour la Carte du Ciel est à droite
du bâtiment principal.

L'observatoire astrophysique de Potsdam témoigne ainsi de l'essor de la toute jeune nation allemande empressée de se manifester sur la scène internationale en science comme dans les autres domaines. Dotés de ressources généreuses à l'aune des observatoires européens, les astronomes de Potsdam furent dès le début en mesure d'entreprendre des recherches ambitieuses et d'obtenir rapidement la reconnaissance des astronomes et astrophysiciens dans le monde et ainsi de jouer un rôle de premier plan dans le développement d'une discipline qu'ils considéraient avoir été inventée dans leur pays.

L'observatoire lui-même revêt une apparence traditionnelle, pourvu une façade de style néoclassique (seule concession à la modernité : celle-ci est réalisée en brique industrielle plutôt qu'en pierre) et d'un plan au sol en croix, suivant le modèle, souvent imité, de l'observatoire de Poulkovo (Fig. 5.2 au centre, et Fig. 5.3). Le bâtiment principal est pourvu de trois coupoles alignées sur un axe est-ouest. La coupole principale abrite un réfracteur Schröder à objectif de 12 pouces (30 cm) de diamètre servant principalement aux études spectroscopiques des étoiles et celles requérant une grande quantité de lumière. De part et d'autre de la coupole se trouvent des laboratoires de physique, chimie et photographie. Au sous-sol sont situés les ateliers mécaniques, des laboratoires supplémentaires pour des travaux chimiques plus grossiers, les batteries, etc. Au sud de la tour principale un héliographe est monté. Les petites coupoles

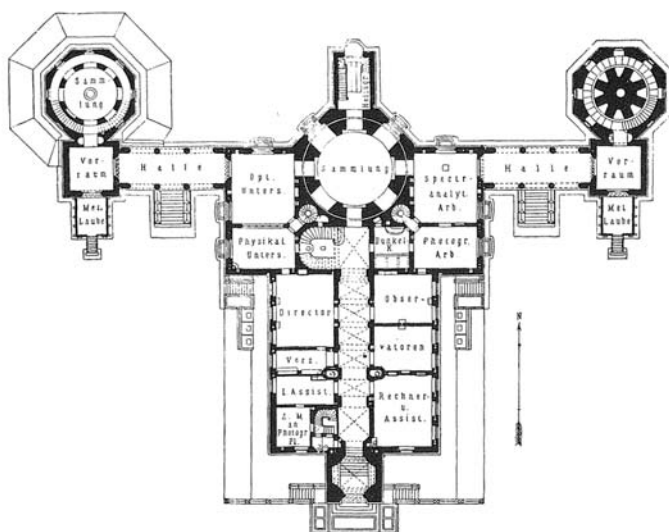


Figure 5.2. L'observatoire astrophysique de Potsdam : plan au sol.

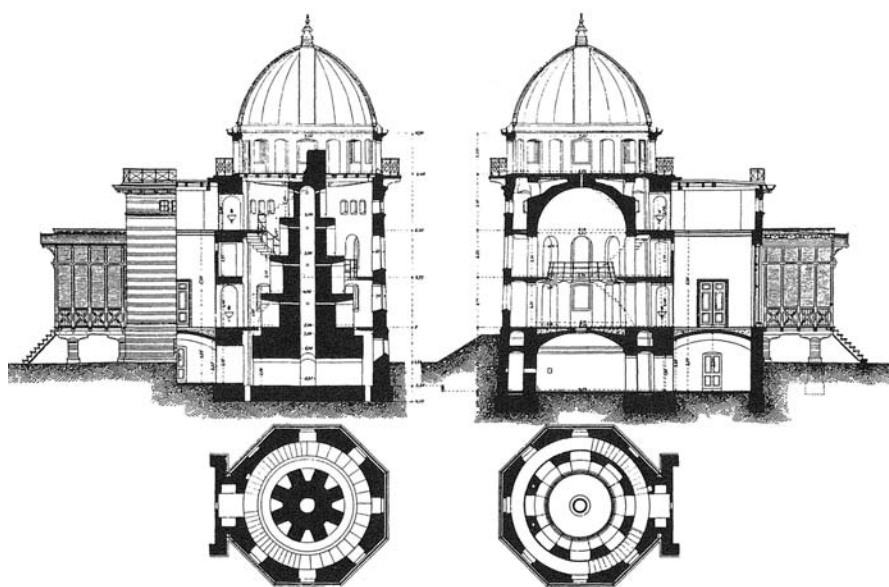


Figure 5.3. L'observatoire astrophysique de Potsdam : coupe verticale.

abritent respectivement un réfracteur Grubb de 8 pouces (25 cm) pour les observations du Soleil, et un Steinheil de 5 pouces (15 cm) qui, combiné avec un photomètre Zöllner, servira principalement à la *Durchmusterung* photométrique du ciel. Contrairement à un observatoire classique, l'observatoire astrophysique de

Potsdam ne possède pas d'instrument pour les déterminations absolues (excepté un petit *Passageninstrument* pour la détermination de l'heure) ; les télescopes servent plus comme « *collecteurs de lumière ou inscripteurs* [photographiques] » que pour la mesure des positions^[10].

L'instrumentation de l'observatoire de Potsdam correspond à la conception que les Allemands se faisaient de l'astrophysique. Ce terme est, comme les passages cités plus haut le montrent, utilisé très tôt en Allemagne alors qu'en France ou en Angleterre on parle plutôt de chimie céleste, de physique solaire ou d'astronomie physique. Les astrophysiciens allemands de l'époque ont défini ce domaine comme se distinguant de l'astronomie de position par trois techniques optiques spécifiques : la spectroscopie, la photométrie et la photographie. Dans les années 1880, Vogel considère ainsi que l'astrophysique comprend quatre départements : l'application de l'analyse spectrale aux corps célestes, la mesure de la luminosité des étoiles et leur variation éventuelle, l'application de la photographie aux astres, et l'étude de la constitution de la surface des planètes et du Soleil^[11]. L'idée que la photographie astronomique relève de l'astrophysique est une vue largement partagée en Allemagne. À l'occasion du premier Congrès astrophotographique, le journal *Kölnische Zeitung* explique ainsi : « *La photographie du ciel, qui a pris un essor si remarquable depuis quelques années, doit en premier lieu être considérée comme faisant partie de l'astrophysique* »^[12]. Cette conception est toujours courante parmi les historiens allemands de l'astronomie^[13].

De fait, les astronomes de l'observatoire de Potsdam apporteront de nombreuses contributions au développement de techniques photographiques pour les besoins spécifiques de l'astronomie et de l'astrophysique, même si ces travaux n'ont pas toujours été publiés par souci de protéger les secrets de laboratoire : élaboration d'émulsions sensibles à de faibles luminosités (étoiles invisibles à l'œil nu), ou adaptées à des objectifs encore souvent achromatisés pour l'observation visuelle, sensibilité à des régions spectrales spécifiques, sensitomètres mesurant la sensibilité des substances photographiques, etc.^[14]. L'observatoire de Potsdam est rapidement devenu le lieu de référence en Allemagne pour tester les émulsions photographiques pour des usages astronomiques, une compétence qu'il conservera jusque dans les années 1960^[15]. C'est certainement en partie cette conception large de l'astrophysique et cette expertise en matière de photographie, en particulier quantitative, qui a fait de l'observatoire de Potsdam le partenaire naturel en Allemagne de Mouchez et des frères Henry ; alors qu'en France, l'observatoire de Meudon et Jules Janssen se tiennent largement à l'écart de la Carte du Ciel.

Les Allemands et la Carte du Ciel : négociations en vue de la participation des astronomes allemands à l'entreprise internationale

À la suite de consultations préliminaires, le contre-amiral Ernest Mouchez, directeur de l'Observatoire de Paris, s'est convaincu de l'importance du projet de photographier l'ensemble de la voûte céleste et de constituer le plus grand catalogue stellaire ayant jamais existé. Le 15 octobre 1886, il fait envoyer par l'Académie des sciences une lettre d'invitation à environ 70 astronomes pour la réunion d'un grand congrès devant se tenir à Paris en avril 1887 pour lancer l'entreprise. Dans la liste des invités préparée par Mouchez et Otto Wilhelm Struve se trouvent 5 Allemands : Vogel, Förster, Auwers, Eduard Schönfeld (observatoire de Bonn), et Adalbert Krueger (observatoire de Kiel)^[16]. Mais ces lettres n'atteignent leurs destinataires que deux mois plus tard, car elles ont dû passer par le ministère des Affaires étrangères et le ministère des Cultes, de l'Instruction Publique et des Affaires médicales prussien, qui contrôle les institutions sous son autorité jusque dans les moindres détails^[17]. En fin de compte, l'Allemagne enverra Vogel, Auwers, Krueger et Schönfeld au premier congrès astrophotographique.

Cependant, on aurait tort d'interpréter cette participation comme le signe d'une adhésion spontanée et sans arrière-pensée à l'entreprise. On constate en effet des différences notables de ton entre la correspondance interne des Allemands et celle qu'ils échangent avec Paris. Contacté informellement par Mouchez dès le printemps 1886, Förster lui avait assuré son soutien et celui de Vogel^[18]. Pourtant, quelques mois plus tard, dans une lettre au ministre des Cultes et de l'Instruction Publique, Förster détaille ses réserves envers l'entreprise. Il n'est pas convaincu que la technique photographique ait atteint un degré de perfectionnement tel que l'on puisse définitivement fixer les méthodes pour la photographie complète du ciel nocturne. Mais il considère qu'une réunion d'astronomes experts dans le domaine ne peut qu'être bénéfique, ne serait-ce que pour faire entendre ces doutes. Il décline l'invitation au prétexte de travaux astronomiques prenants et de son manque d'expertise dans le domaine de l'astronomie photographique^[19].

De même, l'Académie prussienne, dans une lettre du 21 janvier 1887 co-signée par Auwers indique au ministre des Cultes et de l'Instruction Publique que :

« d'une perspective scientifique, des réserves considérables doivent être émises contre l'opportunité d'une telle conférence. Mais un refus de participer de

la part de l'Académie ne servirait à rien, puisqu'elle resterait sans influence sur la réalisation des intentions parisiennes, et servirait seulement à réduire le poids que les astronomes allemands pourraient mettre dans la balance en ce qui concerne les modifications absolument nécessaires du programme esquissé à Paris pour la planification du travail (...). Mais même en ignorant les raisons scientifiques, un refus serait en toute probabilité perçu à Paris comme un affront, que l'Académie considère comme son devoir le plus urgent d'éviter, compte tenu des relations actuelles très tendues ».^[20]

La veille, Auwers, adressait pourtant à Mouchez un courrier assurant le soutien de son institution au projet :

« l'Académie de Berlin a pris connaissance avec un grand intérêt du projet de Monsieur le directeur de l'Observatoire de Paris, de construire une telle carte au moyen de l'ensemble des travaux d'un grand nombre d'observatoires, situés en différentes parties de la Terre. Elle se rappelle volontiers qu'elle-même a fait le premier essai de construire à l'aide d'observations organisées dans ce but, des cartes célestes qui tâchaient de rendre toutes les étoiles, jusqu'à une grandeur déterminée, relativement petite. Elle apporte toute sa sympathie à une entreprise dont la réussite fera faire un progrès considérable et nouveau dans cette partie de la science (...). Elle espère que (...) les observateurs allemands pourront contribuer dans une large mesure à l'exécution de cette œuvre, malgré les grandes difficultés climatologiques contre lesquelles ils ont à lutter ».^[21]

Schönfeld, de Bonn, écrit pour sa part au ministère que « les observatoires allemands, à l'exception de l'Observatoire Royal de Potsdam, sont jusqu'à présent restés étrangers à ces études [photographiques] ». Pour Schönfeld, il serait prématuré que tous les astronomes allemands se consacrent à la photographie astronomique. Cependant il ne serait pas recommandable que l'astronomie allemande soit entièrement absente d'un tel congrès. Schönfeld se propose donc de s'y rendre, bien qu'il ne possède qu'une expérience d'amateur en matière de photographie et qu'il maîtrise mal la langue française^[22]. Krueger, de Kiel, répond au ministère qu'en tant qu'éditeur des *Astronomische Nachrichten*, il se doit de participer au congrès, même si les ressources limitées de son observatoire et les conditions climatiques défavorables empêcheront sûrement sa participation à l'entreprise même^[23].

On voit donc que, pour des raisons différentes, les astronomes allemands sont ambivalents par rapport au projet de Mouchez : soit parce que leur manque

de ressources (Krueger) ou de compétences dans le nouveau domaine de l'astronomie photographique (Förster, Schönfeld, Krueger) les en exclut par avance ; soit parce qu'ils considèrent le projet trop ambitieux ou prématuré étant donné l'état des connaissances en matière de photographie astronomique (Förster). En effet, si la technique avait produit de beaux résultats dans des études qualitatives (surface de la Lune ou du Soleil, par exemple), on était encore loin dans les années 1880 d'avoir compris les lois régissant notamment le rapport entre la durée d'exposition et le diamètre apparent d'une étoile sur la plaque, pourtant essentielles pour des mesures astrométriques au moins aussi précises que les mesures visuelles. À ces réserves s'ajoutent des considérations d'ordre politique (Auwers, Schönfeld). Les astronomes allemands ne manquent pas de rappeler aux Français le rôle pionnier de l'Allemagne dans l'élaboration de catalogues stellaires par des réseaux d'observateurs, depuis le projet de Franz Xaver von Zach en 1800 de constituer une carte des étoiles jusqu'à la neuvième magnitude par la collaboration de 24 astronomes, jusqu'au *Zonenunternehmen* de l'Astronomische Gesellschaft (AGK1), catalogue établi de 1870 à 1885 grâce aux observations de 8 observatoires^[24]. Ils se sentent tenus de donner leur soutien public à cette œuvre qui constitue une nouvelle étape dans l'histoire de l'astronomie de position, tout en regrettant en privé d'avoir à en abandonner l'initiative à une nation concurrente. Ils expriment des doutes par rapport au projet scientifique mais ne veulent pas s'exclure par avance du projet s'il s'averrait avoir le succès qu'escomptait Mouchez ; ils se sentent tenus malgré leur réticences de faire signe de bonne volonté dans un contexte très tendu, marqué par la récente guerre de 1870-71 et les rivalités nationalistes – on peut rappeler à ce propos le refus initial des savants français de participer à la *Mittel-Europäische Gradmessung* (Mesure d'arc d'Europe Centrale) initiée par Johann Jacob Baeyer avec le soutien de l'État prussien en 1862. On voit ici à l'œuvre une tension caractéristique de la période entre réflexes nationalistes et idéal scientifique internationaliste qui, dans le meilleur des cas (dont la Carte du Ciel fait certainement partie), mène à une émulation réciproque dans l'élaboration de projets collaboratifs internationaux^[25].

La Carte du Ciel à Potsdam

Vogel par contre est enthousiaste. Il écrit à son ministère que l'observatoire de Potsdam possède une expérience considérable dans le domaine de la photographie astronomique et qu'il est important qu'au moins un membre de son observatoire se rende à Paris pour discuter des modalités de la participation

de Potsdam à l'entreprise. Il indique même qu'une partie non encore utilisée de son budget pourrait être allouée aux frais du voyage^[26].

Cette dernière remarque n'est pas anodine. Alors que Auwers, Schönfeld et Krueger se voient obligés de demander au ministère de subventionner leur voyage à Paris, Vogel dispose de fonds en excédent lui permettant de couvrir ses propres frais et celui d'un accompagnateur^[27]. Krueger et Schönfeld se désistent d'une participation au projet de la Carte du Ciel en insistant sur la modestie de leur ressources. L'observatoire de Potsdam, l'institution astronomique la plus moderne de la nouvelle nation, jouit d'un meilleur statut que les autres observatoires sur le sol prussien et allemand. Vogel n'hésitera pas à faire la demande d'une somme de 50 000 Marks pour la construction d'un réfracteur photographique et d'un bâtiment l'abritant, précondition à la participation de chaque observatoire à l'entreprise (Fig. 5.4 et 5.5)^[28]. La même année, il demandera la création d'un troisième poste d'observateur à Potsdam pour effectuer des travaux de photométrie stellaire (salaire : 4 500 Marks annuels)^[29].



Figure 5.4. La coupole abritant le réfracteur photographique pour les clichés de la Carte du Ciel.

Ces demandes sont formulées début mai 1887, c'est-à-dire dès le retour de Vogel du premier congrès parisien. Sa requête est adressée au ministère des Finances accompagnée d'un rapport de Förster et Auwers qui lui apportent leur soutien ferme :

« La réalisation de la carte générale du ciel promet d'être l'une des entreprises astronomiques non seulement les plus grandioses mais aussi les plus fertiles et importantes de tous les temps, et elle porterait de sérieux dommages à l'astronomie allemande (qui, il y peu de temps encore possédait dans le domaine des travaux uranographiques la prééminence, qu'elle a dû abandonner au profit de l'Observatoire de Paris) si celle-ci ne participait pas avec au moins un observatoire à ce travail si important pour la discipline, à laquelle se pressent les savants d'autres, peut-être de toutes les nations civilisées. Pour cela l'observatoire astrophysique est particulièrement qualifié, avec son personnel expérimenté dans la photographie du ciel, son emplacement géographique avantageux et des moyens de fonctionnement suffisants (...). Les travaux doivent commencer en 1889 »^[30].

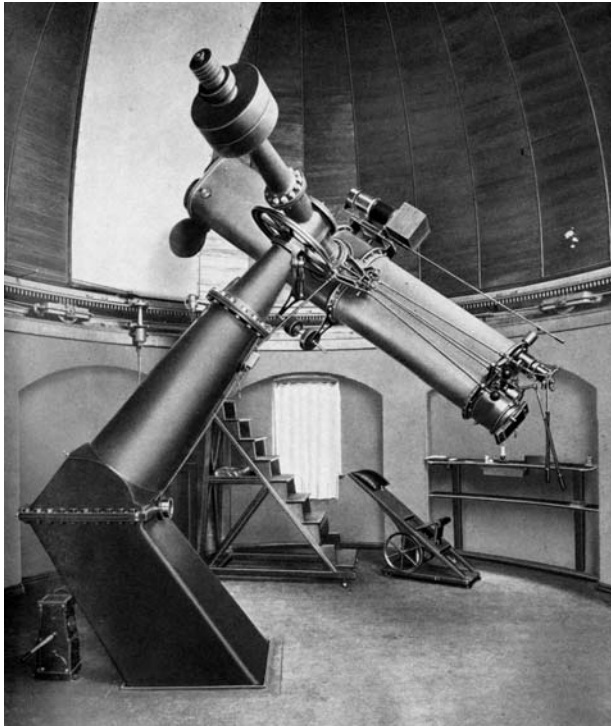


Figure 5.5. Le réfracteur photographique dans sa coupole.

Au-delà de l'appel à la fibre nationaliste des gouvernants, certainement en partie stratégique, il semble que Förster et Auwers aient été convaincus par le congrès et par Vogel de la valeur de l'entreprise. L'observatoire de Potsdam sera l'un des premiers à être équipé du réfracteur photographique standard (réfracteur Steinheil et Repsold, à double objectif, photographique de 32,5 cm et visuel de 24 cm, mis en service en 1889) et à commencer les travaux pour le catalogue de la Carte du Ciel^[31]. Il sera le premier observatoire à publier des résultats en 1899^[32]. Auparavant les astronomes de Potsdam auront largement contribué aux recherches préliminaires : études sur les déformations de la couche sensible, sur la construction de réseaux de repère (les réseaux servant à produire un quadrillage régulier sur les plaques avant leur exposition, qui devait permettre de contrôler les déformations éventuelles de la gélatine et de mesurer la position des étoiles) ; sur le choix de « *test objects* » (objets servant à tester les instruments) et sur la formule chimique de l'émulsion photographique^[33], qui donneront lieu à plusieurs publications^[34].

Notons cependant que tout ceci ne s'est pas toujours déroulé sans conflit : la correspondance entre Vogel et Mouchez témoigne de plusieurs épisodes de tension, à propos notamment de la fabrication et distribution des réseaux (1888-1890)^[35] et des études sur les écrans servant à définir la 11^e magnitude en fonction de la 9^e d'Argelander (1891)^[36]. Sans entrer dans les détails, on peut remarquer que ces conflits témoignent de difficultés prévisibles dans la recherche de consensus parmi les membres d'un aussi large groupe. Alors qu'au sein de chaque observatoire règnent une organisation très hiérarchique et une discipline sévère, l'entreprise de la Carte du Ciel se veut démocratique, et dans les faits Paris est incapable d'imposer quoi que ce soit aux directeurs d'observatoires à l'étranger, tous éminents astronomes, participants volontaires et responsables de leur propre financement^[37].

La contribution de Potsdam à la Carte du Ciel est rassemblée dans sept volumes publiés de 1899 à 1915^[38]. Ces volumes donnent les positions approximatives (avec une précision d'une seconde en ascension droite et d'un dixième de minute pour la déclinaison) d'une partie des étoiles de la zone attribuée à Potsdam jusqu'à la 11^e grandeur pour 1900. Pour diverses raisons sur lesquelles nous reviendrons, Vogel décidera de ne pas entreprendre les clichés à longue pose pour la constitution de la Carte du Ciel à proprement parler ; et la réduction aux positions exactes des étoiles du catalogue ne sera jamais entreprise. La Première Guerre mondiale mettra en outre prématurément fin à la publication du catalogue des positions approximatives.

Les travaux pour la Carte du Ciel ont été effectués sous la direction de Julius Scheiner jusqu'à sa mort en 1913. Dans le premier volume du catalogue, il explique en détail les procédures de calibration des instruments, la routine de prise des clichés, de développement des plaques, leur mesure et réduction et les vérifications et corrections effectuées à chaque étape. Il indique par exemple que le nombre de clichés prévu pour le catalogue est de 1232, sachant qu'on peut au mieux effectuer 5 à 6 clichés de l'heure, avec une exposition de 5 minutes. La mesure de la position des étoiles en fonction des unités du réseau sur les clichés est réalisée par un observateur et dictée à un aide, à raison d'une trentaine de mesures par heure en moyenne. Il précise aussi que les réductions sont toujours effectuées par les observateurs eux-mêmes avant d'être vérifiées par des aides-calculateurs et enfin par Scheiner. La mesure et la réduction des clichés selon cette méthode requiert le temps complet d'un assistant et les trois quarts du temps d'un deuxième assistant, ainsi que le concours de deux aides-calculateurs et une proportion considérable du temps de travail de Scheiner lui-même. Pour la constitution du premier volume du catalogue, Scheiner a pu ainsi compter sur l'assistance d'Arnold Schwassmann (clichés, mesures et réductions), H. Clemens (catalogage, comparaison avec la B.D.) et Alice Everett^[39] (mesures et réductions), ainsi que sur l'aide des professeurs d'école Thiele et Todt (vérification des calculs)^[40].

Une spécificité de la contribution de Potsdam à la Carte du Ciel est la comparaison systématique des positions et des grandeurs obtenues avec celles de la *Bonner Durchmusterung*. Toutes les étoiles de la *Durchmusterung* n'ayant pas été trouvées sur les clichés ou différant de plus de 4 s en ascension droite et 3' en déclinaison, ou dont les magnitudes s'écartaient significativement de celles des clichés ont fait l'objet de vérifications, permettant de corriger aussi bien le catalogue de Potsdam que celui de Bonn. La décision d'entreprendre cette comparaison peut surprendre, car elle représente un surplus de travail alors que, comme on le verra plus loin, le manque de ressources force Potsdam à renoncer à calculer les positions exactes des étoiles. Mais Scheiner insiste que cette comparaison « est de toute évidence nécessaire, de sorte que le travail supplémentaire que représente la production des positions approximatives est tout à fait insignifiant »^[41]. Ce n'est pourtant pas le sentiment des autres participants : seul l'observatoire d'Oxford s'y essaiera, mais seulement à titre expérimental^[42]. L'attitude de Scheiner devient compréhensible lorsqu'on sait qu'il a été formé à Bonn par Schönfeld et qu'il a participé à la *Zonenunternehmen*. Il a aussi comparé les magnitudes dans les catalogues de Bessel, d'Argelander, de Lalande, de Schjellerup et l'*Uranometria*

Argentina^[43]. Une décennie plus tard, il pourra compter sur l'aide de son ancien collègue à l'observatoire de Bonn, le Prof. Deichmüller, dans sa comparaison de la Carte du Ciel et de la *Bonner Durchmusterung*. À travers l'initiative de Scheiner, l'observatoire de Potsdam cherche à mettre la Carte du Ciel en relation avec les catalogues stellaires existants, se plaçant ainsi dans la continuité historique de l'astronomie allemande de position. Malgré les affirmations initiales de Vogel sur la nature astrophysique de la photographie astronomique, c'est paradoxalement à Potsdam que la Carte du Ciel a été le plus concrètement raccordée à la tradition astrométrique.

La réorientation des priorités

Au même moment où Scheiner affirme la portée principalement astrométrique de la Carte du Ciel, il indique dans ce premier volume du catalogue que l'observatoire astrophysique de Potsdam n'a pas vocation à produire des catalogues de positions d'étoiles. Pour expliquer sa décision et celle de son directeur de ne pas calculer les positions exactes des étoiles sur les clichés de la zone attribuée à Potsdam, il précise que la transformation des coordonnées rectilignes en ascensions droites et déclinaisons nécessiterait un bureau de calculs supplémentaire :

« Il est vrai qu'une augmentation du personnel de 5 ou 6 calculateurs serait possible avec les moyens de l'observatoire, mais elle signifierait une limitation si grande des activités de l'institut dans son domaine principal, l'astrophysique, qu'elle ne peut être justifiée. Il faut considérer que l'exécution de la Carte du Ciel, en particulier la production d'un catalogue stellaire, est éloignée des responsabilités de l'Observatoire de Potsdam, et qu'il n'a été chargé de ce travail que parce qu'il était alors le seul institut en Prusse à connaître les méthodes photographiques assez bien pour pouvoir non seulement utiliser un appareil photographique mais aussi apporter des perfectionnements et améliorations à ce domaine ».^[44]

Cet argumentaire (non-pertinence de la Carte du Ciel à l'astrophysique, manque de ressources) sera régulièrement repris par Vogel dans ses négociations avec Paris et avec le ministère, jusqu'à son annonce en 1904 de sa décision de renoncer à la Carte du Ciel à proprement parler.

Que s'est-il passé ? L'observatoire de Potsdam, dont les travaux sur la Carte du Ciel comptait parmi les plus avancés en 1900, par le nombre des clichés,

de mesures et de réductions effectués^[45], avait en fait amorcé un tournant dès la fin des années 1890. Moins de cinq ans après la publication triomphale du premier volume de la Carte du Ciel, Potsdam amorce un retrait graduel de l'entreprise. Si les collaborateurs de Vogel continueront de produire des volumes du catalogue des positions approximatives jusqu'en 1915, il est clair que la Carte du Ciel ne compte plus parmi les préoccupations principales de l'observatoire de Potsdam.

Pour comprendre ce revirement, il faut prendre en compte les autres travaux entrepris à l'observatoire dans les années 1880 et l'évolution de la recherche en astrophysique au niveau international. En 1887, l'année où la Carte du Ciel est lancée, Scheiner arrive à Potsdam et entreprend avec Vogel un programme pionnier de mesure de la vitesse radiale des étoiles par voie photographique (effet Fizeau-Doppler). En 1889 Vogel montre grâce à ces méthodes que les étoiles à luminosité variable Algol (β *Persei*) et Spica (α *Virginis*) sont en réalité doubles, dotées d'un compagnon invisible. Lorsque le réfracteur astrographique est inutilisé, en particulier entre 1889 et 1893 en attendant que le comité international se mette d'accord sur le temps d'exposition des clichés, Vogel s'en sert, notamment pour produire en 1892 un catalogue des vitesses radiales de 50 étoiles obtenues par la méthode spectrographique, et un catalogue de spectres de 528 étoiles de la I. classe^[46].

Le grand succès remporté par ces recherches, les découvertes faites par d'autres astronomes à l'aide de ces méthodes, en particulier aux États-Unis, encourageront Vogel à poursuivre ces travaux, et lui donneront l'idée de construire un très grand réfracteur pour de nouvelles études de spectrographie stellaire. En 1890 Vogel soumet un mémoire à ce sujet au gouvernement prussien, et ne cessera de faire campagne jusqu'à ce qu'il obtienne gain de cause : en 1899 le grand réfracteur (objectif photographique de 80 cm et visuel de 50 cm) est inauguré, qui aura coûté, sans compter la construction d'un nouveau bâtiment et les équipements, plus de 230 000 Marks, presque cinq fois plus que le réfracteur de la Carte du Ciel^[47].

L'acquisition du réfracteur de la Carte du Ciel aura ainsi joué un rôle déterminant dans l'initiation de ce nouveau champ de recherches spectroscopiques à Potsdam, qui finira par se substituer au programme astrographique initial. D'autant plus que la performance décevante du grand réfracteur fera qu'au lieu de libérer le télescope astrographique pour les travaux de la Carte du Ciel,

celui-ci continuera d'être indispensable pour toutes les recherches spectrographiques. Aux soucis techniques s'ajoutent à la fin des années 1890 et au début des années 1900 des préoccupations financières. Vogel peine à obtenir du gouvernement en pleine crise financière des crédits supplémentaires pour embaucher de nouveaux observateurs. Alors que le grand réfracteur est en cours de construction Vogel presse le ministère d'accéder à ses demandes :

« Je ne pourrai rendre compte d'activités productives avec cet instrument, correspondant au grand sacrifice pécuniaire qu'il a représenté que lorsqu'on m'aura donné, après la mise en service de l'instrument, deux hommes du rang d'observateur. Je regretterais sincèrement qu'après cette longue lutte, étant maintenant parvenu au but souhaité – la possession du grand instrument – on me lie les ailes et que les dispositions prises jusqu'en détail pour faire un emploi digne de l'instrument dussent être entièrement bouleversées ».^[48]

En 1903, 1904 et 1905 il réitère sans succès sa demande auprès du ministère, affirmant désormais que l'analyse spectrale constitue le champ d'activité principal de l'observatoire, et que celui-ci est toujours la seule institution en Allemagne à faire des recherches dans ce domaine. La discipline a pris de telles proportions que ses ressources actuelles ne suffisent plus. Il manque de personnel pour mesurer et réduire les clichés qui permettront à Potsdam de maintenir son statut dans la course internationale, mais le nombre des clichés spectraux non exploités augmente de manière préoccupante : en 1902, 247 clichés ont été pris à l'aide du grand réfracteur, dont seulement 63 ont pu être traités. Sans l'adjonction de nouveaux collaborateurs, *« à l'avenir il arrivera toujours plus souvent que les observatoires américains, qui sont équipés de moyens financiers très imposants et disposent d'autant d'aides qu'ils désirent, nous devanceront par leurs publications sur des objets dont l'étude avait commencé ici mais qui, pour les raisons évoquées plus haut, n'ont pas pu être conclues à temps ».*^[49]

Conclusion

Le 26 novembre 1904, Vogel écrit à Mouchez : *« je suis malheureusement contraint de renoncer à l'exécution de la Carte du Ciel sur la base des clichés photographiques à longue exposition, et ce principalement parce que le personnel à ma disposition est incapable de se charger de ce travail et qu'une augmentation du personnel de l'Observatoire est improbable. L'exécution de la Carte du Ciel est un*

travail qui ne se rapporte que de loin au domaine d'activité propre de l'institut et doit en conséquent passer à l'arrière-plan de ses autres travaux »^[50].

Comme on vient de le voir, diverses raisons ont motivé la décision de Potsdam de se retirer de l'entreprise internationale. D'abord, comme le souligne Vogel, la limitation des ressources de son observatoire fait qu'il ne peut à la fois poursuivre ses ambitieux programmes de spectroscopie et de photométrie stellaires et réaliser les travaux pour la Carte du Ciel. Mais cet argument est en partie un prétexte, car depuis plusieurs années déjà d'autres projets sont prioritaires à Potsdam. Le retrait de Potsdam de la Carte du Ciel est surtout révélateur d'une évolution des priorités de l'observatoire au cours des dernières décennies du XIX^e siècle, elle-même largement déterminée par le développement de la discipline au niveau international pendant cette période.

Si, à la fin des années 1880, Vogel s'enthousiasme pour la Carte du Ciel, et insiste auprès de son ministère sur les compétences spéciales de son observatoire en matière de photographie astronomique, vingt ans plus tard il affirme que la Carte du Ciel ne fait pas strictement partie de l'astrophysique et que le champ d'activité principal de son observatoire est l'analyse spectrale. Étant donné le développement impressionnant de la spectroscopie stellaire à la fin du XIX^e siècle et des nombreuses découvertes à laquelle elle a donné lieu, la perspective de consacrer d'importantes ressources humaines et financières à la production routinière d'un catalogue et d'une carte des positions stellaires est de moins en moins attirante pour les astronomes de Potsdam. Ils considèrent désormais que s'ils se devaient de participer aux recherches préliminaires sur les méthodes de photographie astronomique, le travail de produire, mesurer et réduire les clichés de la Carte du Ciel relève de l'astronomie de position.

On peut formuler cette attitude d'une autre manière : si le projet de Mouchez pouvait paraître avant-gardiste dans les années 1880, en 1900 c'est la spectroscopie stellaire qui paraît la voie la plus prometteuse aux astrophysiciens de Potsdam. Alors qu'en 1886 les astronomes allemands étaient jaloux de l'initiative parisienne, au tournant du XX^e siècle, ce sont plutôt par les États-Unis que Vogel craint de se voir dépasser. Son grand réfracteur et ses catalogues de spectres rivalisent avec ceux de George Ellery Hale et Edward Pickering plutôt qu'avec les travaux effectués à Paris, Meudon ou Greenwich. Il est révélateur que l'année du retrait de Potsdam de la Carte du Ciel coïncide avec le lancement par Hale d'un projet alternatif de collaboration internationale entre astronomes, l'*International*

Union for Co-Operation in Solar Research, qui deviendra l'Union Astronomique Internationale à la fin de la Première Guerre mondiale. En 1919, cet organe incorporera la Carte du Ciel sous l'intitulé de Commission 23, marquant la nouvelle donne institutionnelle et scientifique de l'astrophysique au xx^e siècle.

Références

- [1] Theo Weimer, *Brève Histoire de la Carte du Ciel*, Paris, Observatoire de Paris, 1987 ; Ileana Chinnici, *La Carte du Ciel, Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Paris et Palerme, Observatoire de Paris/Osservatorio astronomico di Palermo G.S. Vaiana, 1999.
- [2] Parmi les rares exceptions on peut mentionner : Laetitia Maison, *La fondation et les premiers travaux astronomiques de l'Observatoire de Bordeaux (1871-1906) : Histoire d'une réorientation scientifique*, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Bordeaux I, 2004, pp. 186-224, Jérôme Lamy, *Archéologie d'un espace savant, l'Observatoire de Toulouse aux xviii^e et xix^e siècles : lieux, acteurs, pratiques, réseaux*, Thèse de doctorat en histoire des sciences EHESS, 2004, pp. 427-444.
- [3] Archives de l'Observatoire de Paris (AOP), Ms1060-V-A-1, Comité international de la carte photographique du ciel/observatoires français ou étrangers/observatoires. Cette correspondance est inventoriée et en partie retranscrite dans Chinnici, *op. cit.*, pp. 306-317.
- [4] Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW), Astrophysikalisches Observatorium Potsdam Bestände (635 AE), dossier 257.
- [5] Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz (GSPK) dossiers *I HA Rep. 76c, Sektion 1, Titel XI, Teil II, Nr. 6, Bd. VIII à XII* (Ministerium der geistlichen, Unterrichts- und Medicinal-Angelegenheiten/wissenschaftliche Sachen/das königliche Observatorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam, 1884-1915) ; *I HA Rep. 151, IC, 7083 et 7084* (Finanzministerium/die Sternwarte zu Berlin und das astrophysikalische Observatorium zu Potsdam, 1881-1906). Je remercie Petra Brokopp de son aide dans la transcription de documents dans ces dossiers.
- [6] Voir M. Tsvetkov, K. Tsvetkova, K.Y. Stavrev, G. M. Richter, P. Böhm, K. Staubermann, « Archiving of the Potsdam wide-field photographic observations », *Publications of the Astronomical Society "Rudjer Boskovic"*, vol. 5, 2005, pp. 309-315. Disponible en ligne : http://www.aip.de/People/pboehm/welcome/publications/BelgProc_poster.pdf
- [7] Förster écrit : « *Ich hatte nämlich diese Sonnenwarte definiert als ein Institut für Beobachtung aller Vorgänge auf der Sonne und in ihrer Umgebung, verbunden mit*

vollständigen Messungen aller unmittelbaren und mittelbaren Einwirkungen auf irdische Zustände, insbesondere mit Registrierung von Beobachtungen des Erdmagnetismus, der Erdströme, der Lufterlektrizität, sowie der Luft- und Bodentemperatur und des Luftdruckes, mit gleichzeitiger Berücksichtigung aller einschlagenden Untersuchungen auf dem neueröffneten Gebiete der allgemeinen Physik des Himmels. Dies war ja allerdings ein Umfang von Beobachtungsaufgaben, welcher weit über die Astronomie hinausgriff, indem er die Sonnenwarte zugleich zu einem meteorologischen und magnetisch-elektrischen Zentralobservatorium stempelte, wie es damals in Deutschland noch gänzlich fehlte ». Wilhelm Förster, *Lebenserinnerungen und Lebenshoffnungen*, Berlin, Reimer, 1911, pp. 137-138. Voir aussi Dieter Herrmann, « Zur Vorgeschichte des Astrophysikalischen Observatorium Potsdam (1865 bis 1874) », *Astronomische Nachrichten*, vol. 296, 1975, pp. 245-259.

- [8] Julius Scheiner, *Das königliche astrophysikalische Observatorium bei Potsdam* in *Die königlichen Observatorien für Astrophysik, Meteorologie und Geodäsie bei Potsdam*, Potsdam, Mayer & Müller, 1890, pp. 5-6.
- [9] Une partie des instruments fut immédiatement achetée, le restant étant commandé lors du voyage qu'entreprit Vogel en 1875 pour visiter les observatoires et fabricants d'instruments en Angleterre, Écosse et Irlande. Ernst-August Gußmann, Wolfgang R. Dick, « Hermann Carl Vogels Bericht über eine Reise nach England, Schottland und Irland im Jahr 1875 » in Gußmann, Scholz, Dick (eds.), *Der Große Refraktor auf dem Potsdamer Telegrafenberg. Vorträge zu seinem 100jährigen Bestehen (Acta Historica Astronomiae 11)*, Francfort, Deutsch, 2000, pp. 97-126.
- [10] Julius Scheiner, *op. cit.*, pp. 10-14.
- [11] « Das vielumfassende Gebiet der Astrophysik zerfällt in vier Abtheilungen, von denen die erste die Anwendung der Spectralanalyse auf die Himmelskörper umfaßt, während die zweite mit der Bestimmung der Helligkeit der Gestirne und ihrem eventuellen Lichtwechsel, die dritte mit der Anwendung der Photographie und die vierte mit der Untersuchung über die Oberflächenbeschaffenheit der Planeten und ganz besonders der Sonne sich beschäftigt ». GSPK I HA Rep. 151, IC, 7083, Hermann Carl Vogel cité dans la lettre de Gustav von Gossler (Ministre des Cultes) à Scholz (Ministre des Finances), 11 mai 1887.
- [12] « Die Himmelsphotographie, die in den letzten Jahren einen so erstaunlichen Aufschwung genommen hat, ist zunächst als ein Teil der Astrophysik zu betrachten, indem sie uns nur ein Abbild eines Gestirns oder eines Teiles des Himmelgewölbes für einen bestimmten Zeitpunkt liefert ». Anon, « Einige vorbereitenden Bemerkungen zu der bevorstehenden photographischen Konferenz in Paris », *Kölnische Zeitung*, 14 avril 1887. GSPK Bd. VIII.
- [13] Cf. par exemple Dieter Herrmann, *Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzprung*, Berlin, Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1978, pp. 97-119.

- [14] Gerhard Scholz, « Über einige wissenschaftliche Beiträge aus den ersten Jahrzehnten des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam », in Gußmann, Scholz, Dick (eds.), *op. cit.*, pp. 69-70. Voir par exemple Hermann Carl Vogel et Oswald Lohse, « Über die Photographie der weniger brechbaren Teile des Sonnenspektrums », *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 6, n° 9, 1876, pp. 297-301 ; Oswald Lohse, « Präparation von Emulsionsplatten bei Tageslicht », *Photographisches Archiv*, vol. 18, 1877, pp. 39-43, Oswald Lohse, « Isochromatische Gelatinplatten », *Photographisches Archiv*, vol. 25, 1884, p. 125, p. 141, et p. 221.
- [15] M. Tsvetkov, K. Tsvetkova, K. Y. Stavrev, G. M. Richter, P. Böhm, K. Staubermann, *art. cit.*, p. 310.
- [16] AOP, Lettre de Hermann Vogel à Ernest Mouchez, 7 janvier 1887.
- [17] La lettre de Mouchez est communiquée par l'ambassadeur français au ministre prussien des Affaires étrangères, qui la transmet le 30 novembre au ministre des Cultes et de l'Instruction Publique, qui à son tour l'envoie le 21 décembre aux destinataires. Berlin, GSPK Bd. VIII, Hellwig à Gustav von Gossler, 30 novembre 1886. Lettre d'Althoff à Auwers, 21 décembre 1886.
- [18] « *Je vous remercie sincèrement de votre intéressante lettre du 6 avril et des échantillons de vos photographies stellaires jointes à cette lettre. Nous partageons l'opinion du monde scientifique sur les grands progrès qui ont été réalisés à votre observatoire par les photographies stellaires des MM. Henry et nous croyons avec vous que ces beaux résultats en commun avec les résultats analogues acquis dans ces dernières années à l'Observatoire de Potsdam fourniront une base pour une grande entreprise vouée à la représentation homogène et complète du matériel stellaire du ciel entier par voie photographique* ». AOP, Lettre de Förster à Ernest Mouchez, 25 mai 1886.
« *Monsieur l'amiral et très honoré collègue, Votre aimable lettre du 12 août m'a suivie avec quelques délais à Bade-Bade, où je me trouve depuis quelque temps avec ma femme souffrante. J'aurais répondu plus tôt si je n'avais pas senti le besoin de connaître l'opinion de mon collègue, Mr. Vogel, directeur de l'Observatoire de Potsdam. À présent, je peux vous assurer qu'une réunion astronomique à Paris vers le 10 avril 1887 nous paraîtrait très convenable pour discuter sur une organisation des travaux de photographie astronomique* ». AOP, Lettre de Förster à Ernest Mouchez, 5 septembre 1886.
- [19] « *Ich bin zwar der Ansicht, daß die ganze Angelegenheit für ein definitives Vorgehen mit umfassenden photographischen Aufnahmen der gesamten Himmelsfläche noch nicht reif ist, und daß auch das vorgelegte vorläufige Programm noch erheblicher Vervollständigungen bedarf; indessen wird eine Versammlung der in Rede stehenden Art geeigneter sein, die bezüglichen Zweifel zur Geltung zu bringen, als dies durch eingehende kritische Aeusserungen schriftlicher Art geschehen kann. Die Sache ist sicherlich von so hoher Bedeutung, dass es sich lohnen wird, sowohl hinsichtlich*

jener Zweifel als hinsichtlich der weiteren experimentellen Vorarbeiten und Sicherungs-Maßregeln, welche nach meiner Ansicht einer definitiven Vereinbarung noch vorangehen müssen, und welche noch jahrelange Arbeit erfordern werden, persönliche Berathungen der kompetentesten Männer zu veranstalten ». GSPK Bd. VIII, Lettre de Wilhelm Förster à Gustav von Gossler, 6 janvier 1887.

[20] « Von fachwissenschaftlicher Seite sind gegen die Opportunität der beabsichtigten Conferenz erhebliche Bedenken vorzubringen. Aber eine Ablehnung der Theilnahme Seitens der Akademie würde der Sache nichts nützen, da eine solche auf die Ausführung der Pariser Absichten ohne Einfluß bleiben, und nur das Gewicht vermindern würde, welches die deutschen Astronomen etwa für diejenigen Modificationen des in Paris für die geplante Arbeit skizzirten Programms in die Wagschale der Conferenzbeschlüsse zu werfen, welche zu einer ersprießlichen Förderung des unzweifelhaft eine erhebliche Wichtigkeit beanspruchenden Projects hier nothwendig erscheinen. Abgesehen aber von der fachwissenschaftlichen Seite der Frage würde eine Ablehnung in Paris aller Voraussicht nach als eine Brüskirung empfunden werden, deren Vermeidung die Akademie unter den augenblicklichen, hochgespannten Verhältnissen für ihre besonders dringliche Pflicht erachtet ». GSPK Bd. VIII, Lettre de l'Académie prussienne des sciences à Gustav von Gossler, 21 janvier 1887.

[21] AOP, Lettre d'Arthur Auwers à Ernest Mouchez, 20 janvier 1887.

[22] « (...) die deutschen Sternwarten, mit Ausnahme des Königlichen Observatoriums zu Potsdam, stehen bislang diesen Studien, trotz des grossen an ihnen haftenden Interesses, ziemlich fremd gegenüber, vielleicht fremder als im Interesse der deutschen Astronomie liegt. Es wäre zwar gewiss unrichtig, wenn wir uns nun alle der auftauchenden neuen Richtung zuwenden wollten, und es könnte dies nur mit Aufopferung wichtigster Interessen geschehen. Dass aber die deutsche Astronomie auf einem Congresse, der zur allgemeinen Einführung der Photographie in die Beobachtungshülfsmittel für himmlische Gegenstände bestimmt ist, ganz unvertreten bleiben sollte, möchte der gehorsamst Unterzeichnete nicht als empfehlenswerth ansehen ». GSPK Bd. VIII, Lettre de Schönfeld à Gustav von Gossler, 31 décembre 1886.

[23] GSPK Bd. VIII, Lettre de Krueger à Gustav von Gossler, 31 décembre 1886.

[24] Sans parler de la prééminence des astronomes allemands dans la production de catalogues stellaires tout court, cf. la *Zonenunternehmen* de Bessel, les *Akademische Sternkarten* de l'Académie prussienne des sciences, ou la *Bonner Durchmusterung* d'Argelander. Voir Lutz Brandt, « F.W. Bessel und die Zonenunternehmen der Astronomischen Gesellschaft », *Sterne und Weltraum*, vol. 1, 1985, pp. 10-15, Gudrun Wolfschmidt, « Internationalität der VAG (1800) bis zur astronomischen Gesellschaft », in Dick, Hamel (eds.), *Astronomie von Olbers bis Schwarzschild (Acta Historica Astronomiae 14)*, Francfort, Deutsch, 2002, pp. 182-203.

- [25] Sur la tension entre nationalisme et internationalisme, voir Paul Forman, « Scientific Internationalism and the Weimar Physicists : the Ideology and its manipulation in Germany after World War I », *Isis*, vol. 64, n° 2, 1973, pp. 150-180, Elisabeth Crawford, « The universe of international science, 1880-1939 » in Frängsmyr (ed.), *Solomon's house revisited : The organisation and institution of science* (Nobel Symposium 75), Canton (MA), Science History Publications, 1990, pp. 251-269.
- [26] GSPK Bd. VIII, Lettre d'Hermann Carl Vogel à Gustav von Gossler, 4 janvier 1887.
- [27] GSPK Bd. VIII, Lettre d'Hermann Carl Vogel à Gustav von Gossler, 21 mai 1887.
- [28] GSPK Bd. VIII, Lettre d'Hermann Carl Vogel à Gustav von Gossler, 7 juin 1887. 6 000 Marks supplémentaires seront sollicités deux mois plus tard pour la construction de la coupole. GSPK Bd. VIII, Lettre de Gustav von Gossler à Scholz, 9 septembre 1887.
- [29] GSPK Bd. VIII, Lettre de Gustav von Gossler à Scholz, 11 mai 1887. Une annotation dans la marge de la lettre indique les salaires cumulés des astronomes de Potsdam dans la perspective d'une création éventuelle du poste : « 1 Direktor mit 10 500 Mark ; 3 Observatoren mit zusammen 18 000 Mark, 1 Assistant mit 3 600 Mark ».
- [30] Berlin, GSPK Bd. VIII Lettre de Gustav von Gossler à Scholz, 18 juin 1887.
- [31] *Comité International permanent pour l'Exécution de la Carte Photographique du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1889, pp. 10-11.
- [32] Julius Scheiner, *Photographische Himmelskarte, Zone +31° bis + 40° Deklination Katalog Bd. I, 20 627 scheinbare rechtwinklige Koordinaten von Sternen bis zur elften Größe nebst genäherten Orten für 1900*, Engelmann, Potsdam, 1899.
- [33] BBAW, Lettre de Hermann Carl Vogel à Ernest Mouchez, 17 avril 1887, 30 juin 1887, 25 juillet 1887, non daté (début août 1887), 26 janvier 1888, et 14 novembre 1888. Mouchez à Vogel, 6 juillet 1887, 22 juillet 1887, 30 juillet 1887, 22 août 1887, et 31 janvier 1888.
- [34] Cf. Hermann Carl Vogel, « Mittheilungen über die von dem Astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam übernommenen Voruntersuchungen zur Herstellung der photographischen Himmelskarte », *Astronomische Nachrichten*, vol. 119, 1888, pp. 1-6, Julius Scheiner, « Über die Bestimmung der Sterngrößen auf photographischen Aufnahmen », *Astronomische Nachrichten*, vol. 121, 1889, pp. 49-62, Hermann Carl Vogel, « Propositions et remarques », *Comité International permanent pour l'Exécution de la Carte Photographique du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1889, pp. 87-89, Julius Scheiner, « Recherches photométriques sur les clichés stellaires », *Réunion du Comité International permanent pour l'Exécution de la Carte Photographique du Ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1891, 81-97, Julius Scheiner, « Resultate der Vorarbeiten zur Herstellung der Photographischen Himmelskarte », *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, vol. 11, 1891, pp. 366-387.

- [35] Sur les études du réseau et sa construction par Wanschaff, puis par Gautier, voir les nombreux échanges entre Vogel et Wanschaff, et Vogel et Mouchez, BBAW, 1888 à 1890.
- [36] Sur la dispute entre Vogel, Mouchez et les autres membres de la commission des écrans, voir BBAW, 1891.
- [37] À la requête de Vogel que Mouchez commande par avance les réseaux des autres observatoires, le directeur de l'Observatoire de Paris répond : « *vous semblez croire que je pourrai prendre sur moi de vous les commander tout de suite pour en faire ensuite la répartition. (...) j'ai prévenu tous nos collègues (...) mais peut-être beaucoup d'entre eux préféreront attendre de nouveaux renseignements et d'avoir même essayé leur instrument avant de demander des réseaux qui leur seraient pendant longtemps encore inutiles (...). Je ne puis résoudre (la question de leurs dimensions) de mon autorité seule. Mais, quelle que soit la décision, le bureau international n'ayant aucun fonds à sa disposition, il ne me serait pas possible de vous commander d'avance tous les réseaux et de vous en envoyer le prix, avant d'avoir reçu moi-même les commandes des divers observatoires aujourd'hui au nombre de 17* ». BBAW, Lettre d'Ernest Mouchez à Hermann Carl Vogel, 7 novembre 1888.
- [38] Julius Scheiner, *Photographische Himmelskarte, Zone +31° bis + 40° Deklination Katalog*, Engelmann, Potsdam, vol. I-VI, 1899-1912, Alexander Biel et Otto Birck, *Photographische Himmelskarte. Zone +31° bis + 40° Deklination. Katalog Bd. VII*, Engelmann, Potsdam, 1915, Hans Ludendorff, *Photographische Himmelskarte. Berichtigungen zu den Bänden I, II, und III*, Engelmann, Potsdam, 1904, Alexander Biehl, *Photographische Himmelskarte. Berichtigungen und Bemerkungen zu den Bänden I-IV et I-VII*, Engelmann, Potsdam, 1908 et 1914.
- [39] Alice Everett, une astronome irlandaise éduquée à Queen's College, Belfast et à Girton College, Cambridge, est employée à Greenwich de 1890 à 1895 avant de remplacer Arnold Schwassman pendant son service militaire, de 1895 à 1898. Voir Mary T. Brück, « Alice Everett and Annie Russell Maunder torch bearing women astronomers », *Irish Astronomical Journal*, vol. 21, n° 3/4, 1994, pp. 281-291.
- [40] Julius Scheiner, *Photographische Himmelskarte*. vol. I, *op. cit.*, pp. IX-XL.
- [41] « *Da eine Vergleichung der rechtwinkligen Koordinaten mit der Bonner Durchmusterung als selbstverständlich nothwendig erscheint, so ist die Mehrarbeit, die durch die Herstellung der erwähnten genäherten Positionen bedingt ist, nur ganz unbedeutend* ». Julius Scheiner, *Photographische Himmelskarte*. vol. I, *op. cit.*, p. XXXVI.
- [42] « *On a entrepris, à titre d'expérience, une comparaison systématique de la zone +25° de la Bonner Durchmusterung d'Argelander, et si cette comparaison semble devoir conduire à des résultats intéressants, elle sera étendue à l'ensemble des autres zones* ». M. Turner in Réunion du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte

Photographique du Ciel tenue à l'Observatoire de Paris en 1900, Paris, Gautier-Villars, 1900, p. 17.

- [43] Johannes Wilsing, « Julius Scheiner », *Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft*, vol. 49, 1914, pp. 22-36.
- [44] « Eine Vermehrung dieses Personals um 5 bis 6 Rechner würde zwar durch Mittel des Observatoriums zu ermöglichen sein, gleichzeitig aber eine so starke Einschränkung der Thätigkeit des Instituts auf seinem Hauptgebiete, der Astrophysik, bedingen, wie sie nicht verantwortet werden kann. Es ist eben zu bedenken, dass die Ausführung der photographischen Himmelskarte, insbesondere aber die Herstellung eines Katalogs, den Aufgaben des Potsdamer Observatoriums gänzlich fern steht, und dass die Uebertragung dieser Arbeit an dasselbe nur deshalb erfolgt ist, weil es damals das einzige Institut Preussens war, an dem die photographischen Methoden genügend bekannt waren, um nicht bloss ein photographisches Instrument in Betrieb zu bringen, sondern auch gleichzeitig noch Vervollkommnungen und Verbesserungen auf diesem Gebiete herbeizuführen ». Julius Scheiner, *Photographische Himmelskarte*. vol. 1, op. cit., p. XXXV.
- [45] Voir : *Réunion du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte Photographique du Ciel tenue à l'Observatoire de Paris en 1900*, Paris, Gautier-Villars, 1900, pp. 10-21.
- [46] Hermann Carl Vogel, « Untersuchung über die Eigenbewegung der Sterne im Visionsradius auf spektrophographischem Wege », *Publicationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam*, vol. 7, n° 25, 1892, Hermann Carl Vogel et Johannes Wilsing, « Untersuchungen über die Spektre von 528 Sternen », *Publicationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam*, vol. 12, n° 39, 1899. Les autres travaux effectués à l'aide du réfracteur de la Carte du Ciel sont détaillés dans Hermann Carl Vogel, « Die zwei Doppelrefraktoren des Observatoriums », *Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam*, vol. 15, n° 45, 1907, pp. 15-17.
- [47] *Ibidem*, 19-22 et Gustav Müller, « Hermann Carl Vogel », *Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft*, vol. 42, 1907, pp. 323-339.
- [48] « Ich (...) erkläre aber, daß ich eine ersprießliche, den großen pecuniären Opfern für das Instrument entsprechende Thätigkeit mit dem neuen Instrumente nur dann in Aussicht stellen kann, wenn mir gleich nach der Aufstellung des Instruments zwei im Range der Observatoren stehende Männer beigelegt werden. Ich würde es aufrichtig bedauern, wenn mir nach dem langen Ringen, nun angelangt an dem erwünschten Ziele – dem Besitz des großen Instruments – die Flügel gebunden wären, und die schon bis ins Detail getroffene Disposition für eine würdige Benutzung und Ausnutzung des Instruments gänzlich umgestoßen werden müßte ». GSPK IC 7084, *Lettre d'Hermann Carl Vogel au ministre des Cultes*, 6 novembre 1897.

- [49] « (...) so daß in Zukunft der Fall immer häufiger vorkommen wird, daß die amerikanischen Sternwarten, die mit ganz gewaltigen Geldmitteln ausgestattet sind und über Hilfskräfte in jeder beliebigen Anzahl verfügen, uns mit Veröffentlichungen zuvorkommen werden, die sich auf Objekte beziehen, deren Untersuchung hier zwar begonnen, aber aus dem oben angeführten Grunde nicht zeitig genug zum Abschluß gebracht werden konnte ». GSPK IC 7084, d'Hermann Carl Vogel au ministre des Cultes, 10 mai 1904.
- [50] « auf ihr gefälliges schreiben vom 24 d. Mts. erwidere ich Ihnen ganz ergebenst, dass ich leider gezwungen bin ~~mich allerdings entschlossen habe~~ von der Ausführung der Himmels-Karte unter Zugrundelegung photographischer Aufnahmen von langer Exposition abzusehen, und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, dass das mir zu Gebote stehende Personal wenigstens für absehbare Zeit nicht imstande ist, diese Arbeit zu übernehmen, und auch keine Aussicht auf Vermehrung des Personals des Observatoriums vorhanden ist. Die Herstellung der photographischen Himmelskarte ist eine Aufgabe, die nur in sehr losem Zusammenhange mit dem eigentlichen Arbeitsgebiete des astrophysikalischen Observatoriums steht, und muss daher gegen die anderen Aufgaben des Instituts in den Hintergrund treten » BBAW, Lettre d'Hermann Carl Vogel à Ernest Mouchez, 26 novembre 1904.

LA DÉTECTION DE LA MATIÈRE INTERSTELLAIRE SUR LES PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES DE LA CARTE DU CIEL

Alain FRESNEAU

Observatoire astronomique de Strasbourg

Le legs scientifique de la Carte du Ciel

L'information fournie par la Carte du Ciel est la même que celle fournie par le Catalogue astrographique, à savoir des mesures linéaires d'images stellaires par rapport aux traits d'un réseau gravé avec un pas de 5 mm et centré sur une déclinaison en degré entier^[1], sur un champ de $2^\circ \times 2^\circ$, à l'échelle de 1 minute de degré pour 1 mm. Une estimation de la magnitude apparente des étoiles est possible à partir d'une échelle graduée en diamètre d'image. Ces mesures linéaires, avec la direction du centre de plaque, permettent de définir les coordonnées équatoriales des étoiles avec une précision identique à celle des instruments méridiens de l'époque^[2] en charge de construire les catalogues de référence des étoiles brillantes sur tout le ciel.

C'est grâce à la RCP 164 du CNRS à la fin des années 1960 qu'il aura été possible d'entreprendre une étude systématique de la qualité des zones allouées aux observatoires d'Alger, Toulouse, Bordeaux, Paris et Greenwich^[3]. Un catalogue de 10^6 étoiles a ainsi pu se construire afin de définir un programme de recherche

d'étoiles naines du halo^[5] et d'étoiles jeunes de la ceinture de Gould^[6] en combinant les observations du catalogue astrographique avec celles du *Quick V* obtenu dans les années 1980 pour les besoins du guidage du télescope spatial^[7].

Le legs du catalogue astrographique sur tout le ciel a ainsi été utilisé dans la construction du PPM^[8] et de l'AC 2000^[9], grâce à l'information mécanographique obtenue depuis les livres imprimés.

Le but de l'étude présente est de rappeler les bases astrophysiques qui permettent de donner un sens à l'utilisation de la Carte du Ciel. Ce sont les observations profondes effectuées à l'astrographe de la Carte du Ciel de l'Observatoire de Paris par Henri Mineur dans les années 1920 vers la constellation du petit Renard qui ont été utilisées^[10]. On distingue bien le *Great Dark Rift* entre les constellations de l'Aigle et du Cygne, un aspect qui donnait l'impression en 1930 de voir deux bras spiraux de notre Galaxie^[11].

Les données héritées de la Carte du Ciel sont des plaques photographiques^[12] que des machines de mesure doivent analyser afin d'en extraire une information (coordonnées équatoriales et magnitude).

C'est grâce au programme européen de *measurement and testing*^[13] que les incertitudes permises par des machines de mesure rapide utilisées sur ces anciennes plaques ont été évaluées.

Le diagramme d'Hertzsprung-Russell

C'est en 1911 que le diagramme H-R (pour Hertzsprung-Russell, et non Henry-Russell) a été construit et que l'on a tenté d'interpréter la répartition des étoiles dans un plan (couleur, magnitude absolue) par une évolution suggérée par le type spectral plus ou moins tardif^[15]. Ce sont les parallaxes trigonométriques de l'époque^[16] qui ont servi, alors qu'Hertzsprung avait déjà montré par ailleurs^[17] la possibilité de déduire les couleurs des étoiles en utilisant une grille installée devant l'objectif d'un télescope. Cette grille est un réseau de diffraction de très faible dispersion qui donne de chaque côté de l'image de l'étoile de très petits spectres correspondant aux différents ordres du réseau ; la distance entre le centre apparent de ces différents spectres indique la couleur de l'étoile. La découverte du diagramme magnitude-couleur aurait pu se faire à Paris ou à Oxford à cette même époque, si l'on avait observé l'amas des Pléiades avec

une grille de Hertzsprung devant l'objectif de l'astrographe de la Carte du Ciel de ces observatoires. La mesure des couleurs et des magnitudes stellaires dans cette direction aurait permis d'établir le premier diagramme évolutif d'amas^[18]. L'usage de la grille de Hertzsprung devait se faire plus tard dans l'entreprise de la calibration de la séquence polaire Nord, avec assez peu de succès, même avec une incertitude de 0,3 magnitude^[19].

C'est également Hertzsprung^[20] qui a compris que la mesure du mouvement propre μ d'une étoile et de sa magnitude apparente m , permet de calculer la quantité $H = m + 5 + 5 \log \mu$, appelée le mouvement propre réduit. Si le mouvement propre est seulement dû au mouvement du Soleil, ce qui est souvent vrai au moins en moyenne, ou si l'on a une indication indépendante de la vitesse moyenne des étoiles étudiées, H est identique, à une constante près, à la magnitude absolue (car $\mu \propto v/D$, v étant la vitesse transverse de l'étoile et D sa distance). L'analyse de la répartition des étoiles dans le plan $(H, B-V)$ permet une classification rapide des systèmes stellaires du disque et du halo^[21]. Dès 1911, on pouvait donc comprendre la distinction qui allait se faire ultérieurement entre étoiles naines et géantes, et K. Schwarzschild obtenait pour E. Hertzsprung le financement nécessaire à l'utilisation du télescope de 1,5 m nouvellement installé au Mont Wilson pour établir les tout premiers diagrammes d'amas des Pléiades, des Hyades, de la Chèvre et de la Chevelure de Bérénice^[22].

Une motivation actuelle de l'usage de la Carte du Ciel est d'utiliser justement ce pourquoi elle avait été faite^[23] : 1) une couverture complète du ciel jusqu'à la magnitude apparente de $14,5 \pm 0,5$ (dans une bande radiométrique large proche de B) à l'époque moyenne 1912 ± 20 ; 2) la possibilité de déduire des coordonnées équatoriales avec la précision géométrique permise par les planches astrographiques (semblable à la précision angulaire permise par les mesures visuelles des observations méridiennes) de l'ordre de 0,3 seconde de degré ($5 \mu\text{m}$ à l'échelle de la plaque astrographique). Ces données rudimentaires doivent se combiner à d'autres données, obtenues avec d'autres instruments, puisque la deuxième couverture du ciel envisagée pour 1930 a été abandonnée au vu de la durée nécessaire à l'achèvement de la première Carte du Ciel ; 3) une classification automatique par le diagramme du mouvement propre réduit.

L'analyse raisonnée des données rudimentaires de la Carte du Ciel (positions équatoriales et magnitude apparente) consiste à extraire d'un échantillon complet jusqu'à la magnitude apparente 14,5, un autre échantillon complet pour

une certaine classe d'objets (par exemple les étoiles naines du disque de type G2 et de magnitude absolue 4,72), jusqu'à une distance permise par l'incertitude des mesures de mouvement propre et de magnitude^[24]. Pour obtenir une indication de distance D , il faut mesurer un mouvement propre μ qui représente la vitesse angulaire de l'étoile animée de la vitesse relative v par rapport au Soleil, à la distance D . Pour les étoiles jusqu'à environ 80 pc, cette vitesse relative v est fonction de la couleur intrinsèque de l'étoile (mesurée par un indice de couleur $B-V$)^[25]. Il faut donc mesurer la magnitude de l'étoile dans une autre bande radiométrique que celle de la photographie de la Carte du Ciel (par exemple la bande visuelle V) pour essayer de séparer les étoiles naines des géantes dans le plan $(H, B-V)$ ^[26]. Il est ainsi possible de rechercher, dans un échantillon sélectionné du catalogue astrographique, des étoiles naines du halo^[27] et des étoiles jeunes de la ceinture de Gould^[28], avec un succès de 10 % environ, ce qui peut paraître faible mais représente un gain d'un facteur 50 par rapport à une recherche purement aléatoire. La cinématique locale du disque galactique peut aussi être étudiée avec un ensemble d'étoiles dont le biais observationnel est contrôlable^[29].

Une couverture complète du Ciel jusqu'à la magnitude apparente visuelle V de 13,5 a été obtenue dans les années 1980 par environ 1600 plaques photographiques de télescopes de Schmidt (champ de $6^\circ \times 6^\circ$), pour les besoins du guidage du Télescope Spatial. La comparaison de la Carte du Ciel et de cette couverture du ciel dans la bande V ^[30] permet de déduire pour les étoiles identifiées dans les deux photographies à 80 ans d'écart le mouvement propre μ et la magnitude dans deux bandes radiométriques (d'où un indice de couleur $B-V$). Le diagramme du mouvement propre réduit permet alors de séparer dans le plan $(H, B-V)$ les étoiles naines des géantes^[31] et de sélectionner un échantillon d'étoiles avec un biais observationnel bien calibré. On peut ainsi envisager l'étude d'un échantillon du grand voisinage solaire d'étoiles d'âge très différent, près de la discontinuité de Parenago (découverte dans les années 1950) à $B-V = 0,61$.

Les mesures de couleur effectuées dans l'entreprise de la Carte du Ciel

Hertzsprung avait non seulement proposé la quantité $H = m + 5 + 5 \log \mu$ comme alternative à la mesure d'une parallaxe trigonométrique, mais l'usage d'une grille devant l'objectif d'un télescope lui a permis d'établir le tout premier diagramme magnitude-couleur des Pléiades^[32]. Cette technique a été employée ultérieurement avec des astrographes mais uniquement sur des cibles

choisies (par exemple sur la source X Her à l’astrogaphe de Bordeaux en 1962). Le tableau 6.1 liste des clichés observés à l’astrogaphe de Bordeaux dans l’entreprise de la Carte et avec une grille de Hertzsprung pour déterminer une couleur. L’information extraite de ces clichés (α , δ) à l’équinoxe 2000 et à l’époque du cliché est disponible sous <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?J/A%2bA/469/1221> (tab. 2) avec l’identification indiquée dans le tableau 6.1.

Tableau 6.1. Liste des clichés observés à l’astrogaphe de Bordeaux avec une grille de Hertzsprung.

α	δ	Époque	N	id.
20h08m	16°	1901 Avril 08	2814	C16152
20h08m	16°	1957 Sept 16	8106	C16152n
20h16m	16°	1904 Sept 08	1210	C16153
20h16m	16°	1962 Sept 01	2115	C16153n

La figure 6.1 donne l’aspect des images détectées sur la plaque photographique C1652n et réduites dans le système de mesures du programme astrogaphique de l’observatoire de Bordeaux^[33] sur un champ de $1^\circ \times 1^\circ$ (60 mm $\times$ 60 mm).

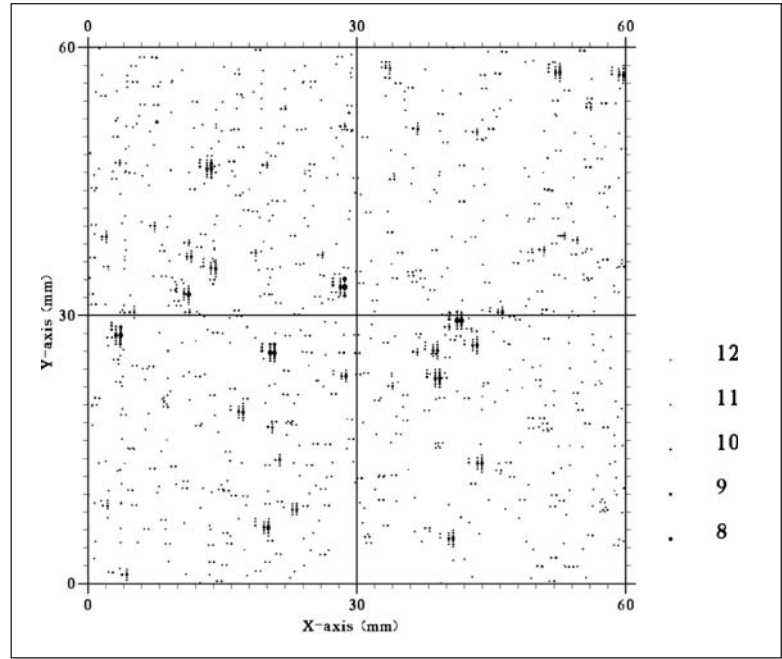


Figure 6.1. Aspect des images réduites dans un champ de la Carte du Ciel.

En utilisant l'écart entre les images stellaires des différents ordres de diffraction, et en identifiant les étoiles dans le *Quick V*, il est possible de calibrer la couleur $B-V$ d'une étoile à partir d'un seul cliché astrographique observé avec la grille de Hertzsprung. La figure 6.2 donne cette courbe de calibration pour le cliché C1652n. Cette figure 6.2 montre bien qu'un indice de couleur $B-V$ (porté en abscisse) peut être obtenu avec une incertitude de $\pm 0,3$ magnitude à partir de l'écart (en μm , porté en ordonnée) entre les images de diffraction de la figure 6.1. Un astrographe aurait donc bien pu servir dès 1911 à construire un diagramme magnitude-couleur de l'amas des Pléiades en utilisant une grille de Hertzsprung, avec une incertitude sur la mesure du mouvement propre de $\pm 5 \mu\text{m}$ qui était justement l'ordre de grandeur de celle obtenue par le bureau de calcul attaché au service de la Carte du Ciel.

La figure 6.3 donne ainsi le diagramme (magnitude, couleur) des étoiles mesurées sur les plaques C1652n et C1652 (observées à 60 ans d'écart). La couleur est déduite de la calibration obtenue par la figure 6.1, et la magnitude absolue est estimée à partir d'une relation entre la magnitude absolue M et le mouvement propre réduit H , déduite des observations astrographiques : $M = -3,786 + 0,711H$. Le mouvement propre et la magnitude apparente sont extraits des mesures des clichés du tableau 6.1.

La séparation entre étoiles naines et géantes est bien visible sur la figure 6.3^[35]. Cette figure 6.3 est très semblable au premier diagramme H-R^[36].

La détection de la matière interstellaire

La connaissance d'une séquence principale pour les étoiles naines dans le diagramme (magnitude-couleur intrinsèque) permet de calibrer la répartition des étoiles dans le diagramme (mouvement propre réduit-couleur observée) en estimant la translation le long de l'axe des couleurs pour trouver un excès de couleur (lié à l'absorption interstellaire) et le long de l'axe du mouvement propre réduit pour trouver l'absorption interstellaire totale. Les résultats proposés sont décrits dans les paragraphes suivants.

Extinction interstellaire

En comparant les distances déterminées par le diagramme du mouvement propre réduit et les distances déterminées par l'indice de couleur pour une

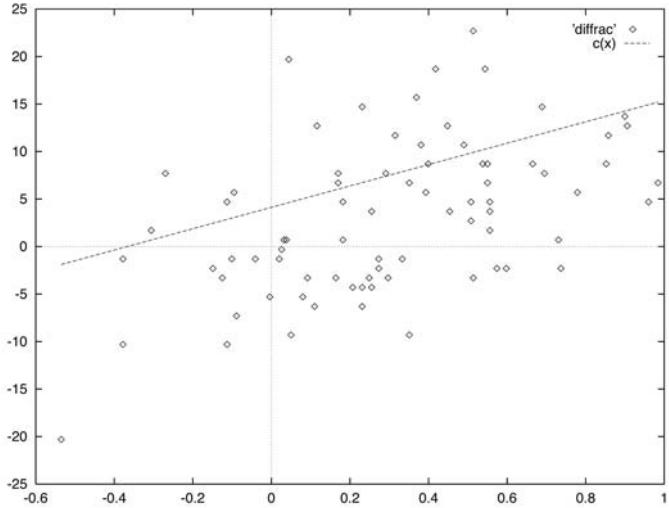


Figure 6.2. Relation entre l'écart en micromètres des images stellaires de deux ordres de diffraction (en ordonnées) et la couleur B-V (en abscisses).

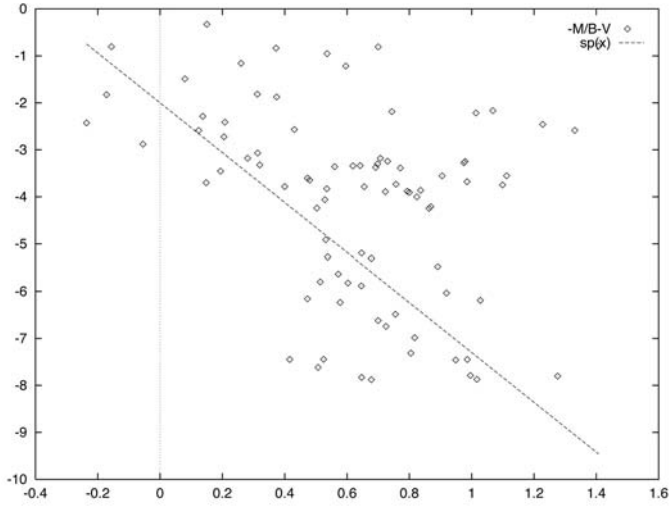


Figure 6.3. Diagramme magnitude absolue (en ordonnées, unités logarithmiques arbitraires) – couleur B-V (en abscisses). La séquence principale est schématisée par la droite en traits interrompus.

étoile naine (méthode de la parallaxe spectroscopique), il est possible d'obtenir une estimation de l'extinction interstellaire^[37]. Cette extinction est fonction de la latitude galactique, ce qui permet de retrouver une valeur raisonnable pour l'épaisseur de la couche absorbante dans le plan galactique, de l'ordre de 150 pc. L'interprétation de l'information contenue dans la Carte du Ciel peut donc se faire dans le cadre d'autres mesures photométriques^[38].

Déflexion des orbites stellaires par une masse

La distance D d'une étoile ayant été estimée à partir de la calibration du mouvement propre réduit, on peut calculer les deux composantes de sa vitesse dans la direction de la longitude et de la latitude galactique à partir de la grandeur du mouvement propre μ et de son orientation par rapport aux deux axes de mesure. En choisissant des directions particulières (par exemple le plan galactique de latitude galactique nulle, les directions du centre et de l'anticentre galactique de longitude galactique respectivement nulle et 180°), on peut s'affranchir de l'ignorance de la troisième composante de la vitesse et explorer des phénomènes liés à une variation de la vitesse de rotation dans le plan galactique lors d'un passage proche d'une masse importante^[39]. L'onde de densité associée au bras du Sagittaire a ainsi été détectée^[40] par l'analyse de la composante en longitude galactique du mouvement propre des étoiles de latitude galactique nulle.

Étoiles variables

On sait que la Carte du Ciel a été partiellement observée avec une technique de triple pose pour bien séparer les images stellaires d'éventuels défauts de développement. La mesure des variations de magnitude entre les trois poses de 30 (ou 20) minutes de temps chacune est particulièrement bien adaptée à la détection d'étoiles à sursaut photométrique rapide, car la bande radiométrique de la Carte du Ciel est proche de la bande U, qui est bien appropriée pour identifier des phénomènes photosphériques stellaires^[41]. La recherche de candidats stellaires jeunes, proches de nuages moléculaires, permet de détecter des fluctuations de densité dans le milieu interstellaire^[42].

L'archivage des plaques photographiques

Il faut bien séparer la notion de *données* (les plaques photographiques), la notion d'*information* disponible dans ces données (la position, la magnitude des étoiles et sa variation au cours des trois poses) et la notion de *science* que l'on veut envisager à partir de cette information. Le nombre de plaques photographiques de la Carte du Ciel est de l'ordre de 10 000 et seule l'information sur environ 1 500 plaques est disponible en ligne. C'est uniquement l'objectif scientifique qui peut guider le besoin d'extraire l'information de cet héritage du passé, soit pour utiliser des coordonnées de première époque en vue de la mesure de mouvements propres^[43], soit pour la recherche d'étoiles particulières^[44].

Il faut bien reconnaître que les plaques photographiques IIIaF des années 1980 au foyer primaire des télescopes de 4 m (KPNO, Palomar, CFH) permettent une incertitude de 0,1 dans la détermination des magnitudes et de 0,1 » dans la position d'étoiles de magnitude apparente 18. Ce sont ces dernières observations, et non celles de la Carte du Ciel qui serviront de première époque pour les futures observations avec les instruments à grand champ en cours de construction, par exemple le SkyMapper <http://www.mso.anu.edu.au/skymapper/> et le *Large Synoptic Survey Telescope*, http://www.lsst.org/lsst_home.shtml.

Le domaine de magnitude apparente 11-14 couvert par la Carte du Ciel ne peut servir que de couverture intermédiaire, et son intérêt ne peut probablement se manifester que par la possibilité de mettre en ligne rapidement^[45] les planches de la Carte obtenues par héliogravure. La calibration de ces planches est aisément vérifiable par des programmes actuellement disponibles et distribués gratuitement^[46].

Conclusion

C'est Henri Mineur^[47] qui a le premier essayé d'entreprendre des programmes scientifiques avec la Carte du Ciel sur les *Selected Areas* de Kapteyn, sur des amas ouverts, sur une région inter-bras de la Voie Lactée, etc. L'étude présente utilise la technique de la grille d'Hertzsprung pour déterminer une couleur et la mesure du mouvement propre réduit pour calculer une magnitude absolue. La séparation entre naines et géantes, découverte par Hertzsprung et Russell en 1911 grâce à un programme d'observations au télescope de 1,5 m du Mont Wilson, aurait pu s'effectuer avec les clichés de la Carte du Ciel à cette même époque, grâce à la faible incertitude (5 μ m) des mesures du catalogue astrographique, peu différente de celle obtenue bien plus tard avec des machines de mesure rapide construites pour l'analyse des plaques de télescope de Schmidt. Ce n'est donc pas l'avantage d'un télescope réflecteur sur les lunettes astrographiques qui a permis la découverte du diagramme H-R^[48]. Si le catalogue astrographique, construit à partir d'environ 40 000 plaques photographiques, a été la source des positions de première époque des étoiles observées par les *star mappers* du satellite Hipparcos, le lot d'environ seulement 1500 plaques profondes analysées avec des machines de mesure rapide paraît bien futile en considération de l'héritage des 10 000 clichés profonds de l'entreprise de la Carte du Ciel. L'existence même de ces observations sur un support archivé depuis plus d'un siècle ne peut pas laisser indifférent le scientifique qui veut analyser des régions particulières le long de la Voie Lactée.

Références

- [1] C. Trépied, *Commentaires des décisions prises par les conférences internationales qui se réunirent à l'Observatoire de Paris en 1887, 1889 et 1891 pour l'exécution photographique d'une carte du ciel*, Paris, Gauthier-Villars, 1892.
- [2] H. H. Turner, « Note on the accuracy of the star charts published by the French observatories as reproductions of their plates », *Monthly Notices of the royal Astronomical Society*, vol. 60, 1900, p. 617.
- [3] P. Lacroute, « Réduction des catalogues photographiques : zones +31 à -2° (RCP 164) », *Bulletin d'information du CDS*, vol. 21, 1981, p. 2.
- [4] A. Fresneau, « Survey of the astrographic catalogue from 1 to 31 degrees of northern declination », *Astronomical Journal*, vol. 88, 1983, p. 1378.
- [5] A. Fresneau, « Proposition d'un programme d'observations de naines du halo et du disque au CAMC », in N. Capitaine, S. Débarbat (ed.), *Colloque A. Danjon*, Observatoire de Paris, journées mai 1990, 1990, p. 227.
- [6] A. Fresneau, A. Acker, G. Jasiewicz, M. Piat, « Kinematical search in the optical for low-mass stars of the Gould Belt system », *Astronomical Journal*, vol. 112, 1996, p. 1614.
- [7] B. M. Lasker, C. R. Sturch, B. J. McLean, J. L. Russell, H. Jenkner, M. M. Shara, « The Guide Star Catalog : I. Astronomical foundations and image processing », *Astronomical Journal*, vol. 99, 1990, p. 2019.
- [8] U. Bastian, S. Röser, « PPM : der Nachfolger des SAO-Katalogs », *Sterne und Weltraum*, vol. 30, 1991, p. 592.
- [9] S. E. Urban, T. E. Corbin, « The astrographic catalog : a century of work pay off », *Sky and Telescope*, vol. 95, n° 6, 1998, p. 40.
- [10] A. Fresneau, R. Monier, « Analysis of the Vulpecula Rift from a photographic survey of proper motions », *Astronomical Journal*, vol. 118, 1999, p. 421.
- [11] F. Chaberlot, *La Voie Lactée, Histoire des conceptions et des modèles de notre Galaxie des temps anciens aux années 1930*, Paris, CNRS éditions, 2003, Chapitre 17.
- [12] D. H. P. Jones, « The scientific value of the Carte du Ciel », *Astronomy and Geophysics*, vol. 41, n° 5, 2000, p. 16.
- [13] P. Brosche, « Extracting the information content of the Carte du Ciel plates », *IV° International Workshop on Positional Astronomy and Celestial Mechanics*, Astronomical Observatory, University of Valencia, Spain, 1996, p. 47.
- [14] A. Ortiz-Gil, M. Hiesgen, P. Brosche, « A new approach to the reduction of Carte du Ciel plates », *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, vol. 128, 1998, p. 621.
- [15] R. W. Smith, « Russell and stellar evolution-his 'relations between the spectra and other characteristics of the stars' », in A. G. Davis Philip, D. H. DeVorkin (eds.), *Dudley Observatory Reports*, Report 13 Albany, N.Y., Dudley Observatory, 1977, p. 9

- [16] H. N. Russell, « Determination of stellar parallax », *Astronomical Journal*, vol. 26, n° 18, 1911, p. 147.
- [17] E. Hertzsprung, « Über die Verwendung photographischer effektiver Wellenlangen zur Bestimmung von Farbaquivalententen », *Publik. des astrophys. Obs. Potsdam*, vol. 22, n° 63, 1911, p. 5.
- [18] H. Rosenberg, « Über den Zusammenhang von Helligkeit und Spektraltypus in den Plejaden », *Astronomische Nachrichten*, vol. 186, 1911, p. 71.
- [19] J.B. Hearnshaw, *The measurement of starlight*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, Chapitre 4.
- [20] E. Hertzsprung, « Über die Sterne der Unterabteilungen c und ac nach der Spektralklassifikation von Antonia C. Maury », *Astronomische Nachrichten*, vol. 179, 1909, p. 373.
- [21] E. M. Jones, « Reduced-Proper-Motion-Diagrams », *Astrophysical Journal*, vol. 173, 1972, p. 671.
- [22] D. B. Herrmann, « Astrophysik im Vergleich », *Die Sterne* vol. 66, Heft 2, 1990, p. 67.
- [23] A. Fresneau, « Using the Carte du Ciel for the extension of the Hipparcos system », *Acta Historica Astronomiae* vol. 3, 1998, p. 133.
- [24] A. Fresneau, « Kinematical classification of stars of blue apparent magnitude 9.5-12.5 and of annual proper motion 0.02-0.20 arcsec into two systems of low (20 km/s) and high (70 km/s) velocity dispersion in the galactic plane », *Astronomical Journal*, vol. 100, 1990, p. 1223.
- [25] W. Dehnen, J. Binney, « Local stellar kinematics from Hipparcos data, *Monthly Notices of the royal Astronomical Society* », vol. 298, 1998, p. 387.
- [26] A. Fresneau, « Absolute magnitude calibration from the Reduced Proper Motion Diagram », *Acta Historica Astronomiae* vol. 6, 1999, p. 154.
- [27] F. Cuisinier, R. Buser, A. Acker, R. Cayrel, G. Jasiewicz, A. Fresneau « Stellar atmospheric parameters for F-G-K stars from low resolution data : method and application to a sample of proper motion stars », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 285, 1994, p. 943.
- [28] W. Poppel, « The Gould Belt system and the local interstellar medium », *Fundamental of cosmic physics*, vol. 18, n° 1-3.
- [29] A. Fresneau, « Galactic disk kinematics traced by low-altitude stars of 55 km/s mean transverse velocity within 500 pc from the sun », *Astronomical Journal*, vol. 104, 1992, p. 578.
- [30] J. L. Russell, B. M. Lasker, B. J. McLean, C. R. Sturch, H. Jenkner, « The Guide Star Catalog II : photometric and astrometric models and solutions », *Astronomical Journal*, vol. 99, 1990, p. 2059.
- [31] W. Luyten, « On the relation between parallax, proper motion and apparent magnitude », *Lick Observatory Bulletin*, vol. X (n° 336), 1922, p. 135.

- [32] A.V. Nielsen, « Ejnar Hertzsprung-measurer of stars », *Sky and Telescope*, vol. 35, n° 1, 1968, p. 4.
- [33] C. Ducourant, J. F. Le Campion, M. Rapaport, J. I. B. Camargo, C. Soubiran, J. P. Perie, R. Teixeira, G. Daigne, A. Triaud, Y. Requieme, A. Fresneau, J. Colin, « The PM2000 Bordeaux proper motion catalogue », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 448, 2006, p. 1235.
- [34] L. T. G. Chiu, « Classification of stellar populations and luminosity classes from accurate proper motions », *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 44, 1980, p. 31.
- [35] B. W. Sitterly, « Changing interpretations of the Hertzsprung-Russell Diagram, 1910-1940, a historical note », *Vistas in Astronomy*, vol. 12, 1970, p. 357.
- [36] D. Devorkin, « Stellar evolution and the origin of the Hertzsprung-Russell diagram », in O. Gingerich (ed.) *Astrophysics and 20th-century Astronomy to 1950*, Part A, Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p. 90, chap. 6.
- [37] A. Fresneau, « A kinematically derived interstellar extinction in the galactic midplane of the greater solar neighborhood », *Astronomical Journal*, vol. 108, 1994, p. 629.
- [38] R. Buser, 1988, « On the interpretation of photometric surveys », *Comptes-rendus de la 9^e journée de l'Observatoire astronomique de Strasbourg : Impact des surveys du Visible sur notre connaissance de la Galaxie*, 1988, pp. 15-42.
- [39] A. Fresneau, A. E. Vaughan, R. W. Argyle, « Collisional dynamics of stellar systems in the northern and southern coalsack regions », *Astronomical Journal*, vol. 125, 2003, p. 1519.
- [40] A. Fresneau, A. E. Vaughan, R. W. Argyle, « Density wave streaming motions in stars along the sagittarius spiral arm », *Astronomical Journal*, vol. 130, 2005, p. 2701.
- [41] A. Fresneau, R. W. Argyle, G. Marino, S. Messina, « Potential of astrographic plates for stellar flare detection », *Astronomical Journal*, vol. 121, 2001, p. 577.
- [42] A. Fresneau, « Using the Carte du Ciel for the extension of the Hipparcos system », *Acta Historica Astronomiae* vol. 3, 1998, p. 133.
- [43] M. Rapaport, C. Ducourant, J.-F. Le Campion, A. Fresneau, R. W. Argyle, C. Soubiran, R. Teixeira, J. I. B. Camargo, J. Colin, G. Daigne, J.-P. Perie, Y. Requieme, « The CDC2000 Bordeaux carte du ciel catalogue », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 449, 2006, p. 435.
- [44] C. Ducourant, R. Teixeira, J.-P. Perie, J.-F. Le Campion, J. Guibert, M. J. Sartori, « Pre-main sequence star proper motion catalogue », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 438, 2005, p. 769.
- [45] A. Fresneau, A. E. Vaughan, R. W. Argyle : Sydney Observatory Galactic Survey, « Potential for detection of extreme disk-crossing stars », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 469, 2007, p. 1221.
- [46] I. H. Busto Fierro, J. H. Calderon, « Ccd-based astrometric measurement of photographic plates », *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, vol. 39, 2003, p. 303.

- [47] H. Mineur, Photographie stellaire, *Actualités scientifiques et industrielles*, n° 141, 1934, p.67.
- [48] D. H. P., Jones, « Was the Carte du Ciel an obstruction to the development of astrophysics in Europe ? », in A. Heck (ed.), *Information Handling in Astronomy*, Astrophysics and space science library, Kluwer, Dordrecht, vol. 285, 2003, p. 267.

MESURE DES MAGNITUDES STELLAIRES SUR LES PLAQUES DE LA CARTE DU CIEL

Emmanuel DAVOUST

Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse

Introduction

La zone de Toulouse de la Carte du Ciel s'étend de +4 à +11 degrés de déclinaison. Entre 1891 et 1966, près de dix mille clichés ont été obtenus avec l'astrographe de la Carte du Ciel de l'observatoire de Toulouse. La plupart de ces plaques ont été sauvegardées et inventoriées. L'inventaire actuel compte 8 577 plaques de format 16×16 cm, dont 30 hors zone (Lune, Neptune, Pléiades) ou inutilisables. L'inventaire compte également 137 plaques de format 18×24 cm, prises en 1948 aux déclinaisons +6 et +10 degrés.

Nous avons entrepris un projet de valorisation de ces plaques photographiques, qui représentent un patrimoine scientifique important et irremplaçable. Notre choix s'est fixé sur la recherche d'étoiles variables. Ce choix a été influencé par des discussions avec Elisabeth Griffin, qui joue un rôle essentiel pour fédérer et motiver les différents projets de sauvegarde des clichés astronomiques. Nous n'avons pas retenu d'études astrométriques, parce que les nouveaux satellites astrométriques (comme Gaia) sont susceptibles de faire mieux dans un avenir raisonnable, et que les scanners du commerce n'ont probablement pas les qualités

requis pour ce genre d'étude. En revanche, l'identification d'objets du système solaire, comme les astéroïdes, est un sous-produit possible de notre étude.

Les étapes successives de l'analyse sont les suivantes. Les plaques sont numérisées avec un scanner du commerce. La position et la densité photographique de toutes les étoiles détectées sont mesurées et portées dans un catalogue. Les coordonnées rectangulaires mesurées pour cinq étoiles connues sont comparées à leurs coordonnées équatoriales, ce qui permet d'établir une relation de conversion entre les deux systèmes de coordonnées et ainsi de calculer les coordonnées équatoriales de toutes les étoiles mesurées. Des étoiles connues sont recherchées à toutes ces positions dans les bases de données en ligne. Leur magnitude sert à calibrer la relation entre les densités photographiques et les magnitudes apparentes. Cette relation permet d'obtenir les magnitudes de toutes les étoiles mesurées et d'identifier d'éventuelles étoiles variables. Ces différentes étapes sont décrites en détail ci-dessous.

Numérisation des plaques photographiques

La première étude de ce projet a été menée avec un scanner Agfa Snapscan 1236S, qui numérise sur 8 bits (soit 256 niveaux de gris) avec une résolution maximale de 600×1200 dpi. Les qualités photométriques de ce scanner ont été étudiées, et s'avèrent bonnes, à condition de placer la plaque au centre de la plage possible. La numérisation avec une résolution de 600 dpi fournit des fichiers de $3\,600 \times 3\,600$ pixels, et chaque pixel représente 2,5 secondes d'arc sur le ciel. Cette résolution est comparable à la résolution du ciel toulousain, alors qu'un suréchantillonnage d'un facteur 2 ou plus serait souhaitable.

Cet inconvénient nous a amenés à acquérir un scanner Epson 3200, fournissant une résolution maximale de 3 200 dpi, soit moins de 0,5 secondes d'arc sur le ciel, ce qui est un suréchantillonnage plus satisfaisant. Le problème de ce scanner est qu'il ne peut scanner que la moitié de la plaque à la fois, ce qui a nécessité un traitement intermédiaire complexe pour fusionner les deux catalogues d'étoiles mesurées ainsi produits. La dynamique de ce scanner est de 16 bits par pixel (soit 64 000 niveaux de gris).

L'étape suivante a été d'acquérir un scanner Epson 4990 qui permet de scanner les deux formats de plaques, 16×16 et 18×24 , en un seul passage, avec une dynamique et une résolution satisfaisantes. Les qualités photométriques de ce

scanner ont été trouvées médiocres par J.P. de Cuyper, L. Winter et N. Zacharius^[A]. Toutefois, ces auteurs utilisent le pilote fourni par le constructeur, dont le logiciel de suppression de bruit affecte l'image de façon incontrôlable. Nous allons tester ce scanner avec le pilote générique fourni par les distributions Linux.

Notons que les pilotes des scanners fournissent des mesures radiométriques en nombres entiers. La loi de conversion des entiers en densités photographiques dépend des scanners. Pour le scanner Agfa, les densités les plus faibles sont à 255, et les plus fortes à 0. Pour les deux scanners Epson, les densités les plus faibles sont négatives, passant de 0 (la plus faible) à -32 000, puis sont positives, de 32 000 à 0 (la plus forte).

Mesure des étoiles sur les fichiers numérisés

Nous avons d'abord utilisé une méthode manuelle de mesure des densités photographiques. Le fichier est visualisé avec le logiciel MIDAS, logiciel de traitement des images astronomiques distribué par l'Observatoire Européen Austral. À l'aide de commandes appropriées, l'opérateur mesure la densité intégrée dans une ouverture circulaire entourant l'étoile, et répète l'opération dans un champ vide voisin, pour estimer la densité du ciel localement. C'est une procédure fastidieuse, longue, et les risques d'erreurs ne sont pas négligeables.

C'est pourquoi nous avons ensuite adopté une méthode utilisant un logiciel de détection automatique d'objet, qui a été mis au point pour les images CCD, mais qui peut, moyennant quelques aménagements, être utilisé pour des plaques photographiques. Il s'agit du logiciel SExtractor^[1]. La difficulté principale est d'empêcher le logiciel d'identifier comme des objets le réseau imprimé sur la quasi-totalité des plaques. Il faut également tenir compte de la non-linéarité des densités et du fait que les images sont des négatifs.

Alors que la méthode manuelle produisait environ 200 mesures par plaque, SExtractor détecte plus de 1 000 objets par plaque, dont certains, bien sûr, sont des artefacts.

Calibration des coordonnées

Cinq étoiles bien réparties sur chaque plaque (de préférence aux quatre coins et au centre) sont identifiées dans le catalogue de mesures et le catalogue

de magnitudes. Elles servent à calibrer le système de coordonnées rectangulaires de chaque plaque.

Plusieurs projections sont possibles^[2] pour établir la loi de conversion des coordonnées rectangulaires dans le plan de la plaque en coordonnées équatoriales sur la sphère céleste. Nous avons adopté la projection dite tangente, la plus courante en astronomie optique, de la sphère vers le plan. L'étoile centrale est au point de contact de la sphère et du plan.

Cette loi de conversion permet de calculer les coordonnées équatoriales de toutes les étoiles mesurées.

En parallèle, un catalogue des étoiles de magnitude connue dans la zone est extrait de bases de données en ligne. Plutôt que d'extraire les étoiles d'une base comme Simbad (<http://simbad.u-strasbg.fr/>) où la qualité des coordonnées et des magnitudes est très hétérogène, nous avons préféré les sélectionner dans un catalogue unique d'étoiles, comme Tycho. Ce dernier a le mérite de fournir également des mouvements propres, ce qui permet de calculer la précession des coordonnées avec une meilleure précision. Les coordonnées doivent en effet être ramenées à l'époque où la plaque a été prise.

Les étoiles du catalogue de mesure sont identifiées par la comparaison des deux catalogues. Pour ces étoiles, on peut ainsi associer une magnitude apparente à la densité photographique mesurée, et donc établir une relation mathématique entre ces deux quantités.

Calibration des densités photographiques

La calibration des densités photographiques mesurées sur la plaque se fait en utilisant le tableau obtenu à l'étape précédente, qui comporte, pour chaque étoile identifiée une densité photographique et une magnitude apparente.

Il est bien connu depuis fort longtemps que la relation entre ces deux quantités n'est pas linéaire : la plaque est insensible aux faibles luminosités et la gélatine sature pour de fortes luminosités. La loi généralement adoptée pour rendre compte au mieux de la relation est du type logarithmique. On définit l'opacité w comme étant :

$$w = 10^D - 1$$

où D est la densité.

La magnitude apparente M est alors supposée dépendre linéairement du logarithme de l'opacité :

$$M = a \times \log(w) + b$$

où a et b sont des constantes propres à chaque plaque.

Nous avons apporté deux modifications à cette loi générale. D'une part, nous définissons la densité D comme la densité normalisée à la densité du ciel et à celle de l'étoile la plus brillante de toutes les plaques étudiées :

$$D_i = \frac{d_i - d_{\text{ciel}}}{d_m - d_{\text{ciel}}}$$

d_i est la densité mesurée de l'étoile i , d_{ciel} est la densité du ciel autour de l'étoile i , et de même pour l'étoile m , la plus brillante du lot de plaques.

D'autre part, nous considérons une relation quadratique (et non plus linéaire) entre magnitude apparente et logarithme de l'opacité.

L'analyse des résultats de mesures effectuées avec le scanner Agfa a révélé une variation complexe centre-bord (de la plaque) de la densité pour une magnitude apparente donnée. Nous interprétons cet effet centre-bord comme le résultat de deux phénomènes concurrents, le vignettage, qui atténue la lumière reçue par la plaque dans les régions périphériques, et la coma, qui étale l'image dans ces mêmes régions périphériques et peut désaturer les étoiles brillantes.

Le choix de l'intervalle spectral auquel se rapporte la magnitude apparente de référence n'est pas trivial. Le maximum de sensibilité des plaques photographiques se situe généralement dans le domaine spectral bleu, mais, si aucun filtre n'est interposé entre la plaque et le ciel (ce qui est le cas ici), les plaques sont également sensibles dans les domaines vert et jaune. Nous avons adopté comme référence la magnitude apparente stellaire bleue (B) dans le système

photométrique de Johnson, après avoir vérifié qu'une calibration avec la magnitude V de Johnson produisait une dispersion plus grande dans la relation. Nous aurions pu tenter d'adopter une magnitude couvrant les deux bandes passantes B et V, mais, ne connaissant pas la réponse chromatique des plaques, qui peut d'ailleurs varier d'une marque à l'autre, nous y avons renoncé.

Il faut s'attendre à ce que notre choix de la magnitude B conduise à des effets de couleur dans la relation de calibration. En effet, la densité photographique mesurée est le résultat d'une convolution entre la réponse de la plaque et le profil spectral de l'étoile. De ce fait, les étoiles très bleues et très rouges auront une densité plus faible pour une magnitude apparente donnée. Nous avons recherché des effets de couleur, et trouvé qu'ils sont présents, mais qu'ils dépendent de la magnitude de l'étoile. Ne comprenant pas les raisons physiques de ces effets, nous avons choisi de ne pas les corriger.

Nous avons donc, *in fine*, adopté une relation de calibration complexe, quadratique en $\log(w)$ et en distance, avec 6 ou 7 paramètres libres.

En pratique, pour déterminer les 6 ou 7 paramètres de cette relation pour chacune des plaques, nous avons écrit en langage Fortran un programme d'ajustement par moindres carrés non linéaire et multivarié. Nous avons utilisé la sous-routine *lfit* décrite par W.H. Press, S.A. Teucholsky, W.T. Vetterling et B.P. Flannery^[3], après l'avoir modifiée suivant les indications des auteurs pour son application à des régressions multivariées. Ce programme traite **toutes** les plaques en même temps, c'est-à-dire que la valeur optimale de chaque paramètre est telle que la dispersion de toutes les magnitudes calculées de chaque étoile autour d'une valeur moyenne est minimale. Autrement dit, l'optimisation est globale, et non plaque par plaque, ce qui est bien normal, puisque chaque étoile n'a qu'une seule magnitude, à moins qu'elle ne soit variable.

Pour éviter des effets pervers dans cet ajustement global, le programme ignore, pour chaque étoile, la mesure de magnitude la plus éloignée de la valeur moyenne.

Résultat et conclusion

Nous avons appliqué notre méthode de mesure des magnitudes au champ de la Carte du Ciel pour lequel nous avons le plus grand nombre de

plaques. Il s'agit du champ de coordonnées 17h56m et +5 degrés), pour lequel nous avons 29 plaques. Ce champ est complété par 5 autres champs voisins qui le recouvrent en partie, soit 31 autres plaques. En tout, nous avons effectué 8 014 mesures manuelles de densités photographiques, et calibré les 40 plaques avec un total de 565 étoiles de magnitude connue.

La magnitude de ces 565 étoiles, calculée à partir de la relation de calibration, a une dispersion inférieure à 0,2 magnitude pour la plupart des étoiles (une dizaine d'étoiles ont une dispersion qui dépasse cette valeur). Nous pouvons donc estimer à cette valeur la précision de nos mesures de magnitude.

Parmi les étoiles ayant un grand nombre de mesures, nous avons identifié SAO 123 099 comme une étoile variable à cause de la grande dispersion des mesures (0,35 mag), et refait la calibration des densités sans cette étoile.

À titre d'exemple, nous avons extrait de notre échantillon 5 étoiles variables, dont la fameuse étoile de Barnard. La répartition assez inhomogène des dates de prise des plaques ne nous a pas permis d'établir une période précise de variabilité pour ces étoiles, tout au plus un intervalle de variation compatible avec l'amplitude de variabilité.

Ce travail va être repris avec le scanner Epson 4990 et le logiciel SExtractor.

Références

- [A] J.-P. De Cuyper, L. Winter, N. Zacharias, « The D4A digitizer » *Scan-it*, vol. 4, 2006, p. 11 (<http://www.lizardhollow.net/SCAN-IT%204.pdf>).
- [1] E. Bertin, S. Arnouts, SExtractor, « Software for source extraction », *Astronomy and Astrophysics*, vol. 117, 1996, p. 393.
- [2] E. W. Greisen, 1993 <http://www.aoc.nrao.edu/aips/aipsmemo.html>
- [3] W. H. Press, S.A. Teucholsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, *Numerical recipes. The art of scientific computing*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

Indication bibliographique complémentaire :

- F. Lamareille, J. Thiévin, B. Fournis, *et al.* « Stellar photometry with the Carte du Ciel plates. I. Method », *Astronomy and Astrophysics*, vol. 402, 2003, pp. 395-399.

(CENT ANS APRÈS...) HIPPARCOS, UNE TROISIÈME DIMENSION POUR LA CARTE DU CIEL

Frédéric ARENOU

Observatoire de Paris

Catherine TURON

Observatoire de Paris

Introduction

Un grand projet visant à établir un Catalogue, un projet international, astrométrique, conjuguant deux expériences en parallèle, suscité par un progrès technologique, un projet initié par un Français et dans lequel la communauté astronomique française s'est fortement investie : tout ceci semble caractériser la Carte du Ciel.

C'est vrai, mais ce n'est pas le seul cas : Hipparcos et son expérience associée Tycho bénéficiant de l'ère spatiale ressemblent fort au Catalogue et à la Carte du Ciel tirant parti de la révolution apportée par la photographie astronomique, et répond également aux autres critères^[1]. Dix ans après l'achèvement du Catalogue Hipparcos, il est tentant de le considérer lui aussi comme entré dans l'Histoire en successeur du grand projet qu'a représenté la Carte du Ciel^[2].

Après avoir rappelé le contexte astrométrique concernant les estimations de distance et de masse stellaires, nous abordons le parallèle entre les deux grands projets.

Le contexte astrométrique

Ordres de grandeur

Le Soleil est dans une zone de la Galaxie très peu peuplée en étoiles, et l'étoile la plus proche du Soleil est déjà très lointaine : elle est à 1,3 pc, soit environ 40 000 milliards de km. Sa parallaxe (inverse de la distance) est de 0,8 seconde de degré. Un instrument comme Hipparcos a mesuré cet angle avec une précision d'environ un millième de seconde de degré, et Gaia le mesurera avec une précision plus de 100 fois meilleure. Il est difficile de réaliser ce que représentent de telles quantités. Nous sommes habitués au diamètre apparent de la Lune : 30 minutes de degré. Un millième de seconde de degré (par la suite noté mas, pour milliarcsecond) est l'angle sous lequel nous verrions, si nos yeux étaient assez performants pour cela, un personnage sur la Lune. Une micro-seconde de degré (par la suite noté μ as, pour microarcsecond) est l'angle sous lequel nous verrions, si nos yeux étaient assez performants pour cela, une fleur sur la planète Mars.

L'astrométrie à les épaules larges

Une bonne (ou mauvaise !) connaissance des distances des étoiles se répercute sur notre représentation de la Galaxie, sur nos estimations de l'échelle des distances dans l'Univers, sur notre compréhension de la physique qui régit les intérieurs stellaires, etc. En effet, à partir de la distance et de la luminosité apparente (la « magnitude apparente ») d'une étoile, on peut calculer sa luminosité intrinsèque (sa « magnitude absolue »). De plus, ceci suppose que l'on soit capable de faire une estimation de la quantité de matière absorbante qui peut éventuellement se trouver entre l'étoile et l'observateur ; mais, dans le voisinage du Soleil, on peut négliger cette absorption.

Les luminosités absolues ainsi obtenues peuvent ensuite être utilisées pour calibrer des relations entre les propriétés physiques d'étoiles d'un type donné et leurs magnitudes absolues. Deux exemples : pour un type d'étoiles donné, la magnitude absolue est bien corrélée avec la couleur (qui traduit la

température de l’atmosphère de l’étoile) ; pour certaines étoiles variables, les Céphéides par exemple, la période de variation (reflet de la période de pulsation de l’étoile) est directement reliée à la luminosité intrinsèque. On voit donc comment la détermination précise des distances d’un certain nombre d’étoiles de notre proche voisinage permet ensuite d’estimer les distances d’objets dans toute notre Galaxie, et ensuite dans les galaxies extérieures en faisant l’hypothèse que les étoiles observées dans ces galaxies ont la même nature physique que celles qui sont observées non loin du Soleil.

Une grande partie de l’astrophysique, de la physique stellaire à la cosmologie, en passant par l’étude de notre Galaxie, repose sur l’astrométrie, du moins si celle-ci apporte des mesures de distance et de mouvements sur le ciel suffisamment précises.

La mesure des distances

« La détermination de l’échelle des distances de l’Univers lointain est, par essence, une tâche impossible... Il serait plus sage de se concentrer sur l’échelle de distance dans notre Galaxie »^[3].

À la fin du XVIII^e siècle, aucune distance d’étoile n’est connue, et la forme de notre Galaxie dessinée par William Herschel (1785) à partir de dénombrements d’étoiles est loin d’être réaliste. On sait que les étoiles sont à des distances différentes, mais que les parallaxes doivent être inférieures à la seconde d’arc, donc délicates à obtenir. La mesure des distances dans l’univers visible ne devient réellement pertinente qu’au long du XIX^e siècle, celui du triomphe de la mécanique céleste et de l’astrométrie. De la compétition entre Bessel, Henderson et Struve, c’est le premier qui gagne, en observant 61 Cygni avec son héliomètre, et en étant à la fois le premier, mais également le plus précis^[4].

Mais, quand débute la Carte du Ciel en 1887, le nombre de distances d’étoiles connues reste très réduit, et la Carte n’a donc pas de troisième dimension. L’évolution du nombre de parallaxes connues est indiquée dans le tableau 8.1^[5] :

Tableau 8.1. Évolution du nombre de parallaxes connues.

année	1839	1850	1862	1888	1901	1906	1924	1949	1962
parallaxes	3	6	10	25	38	263	1 670	5 751	6 607

L'influence des méthodes photographiques apparaît clairement, qui multiplie par près d'un ordre de grandeur le nombre de parallaxes mesurées au début du xx^e siècle, malgré la Première Guerre mondiale. La technique atteint cependant ses limites : en 1984, seules 50 parallaxes supplémentaires étaient obtenues par an à l'observatoire de Flagstaff^[6]. À ce rythme, il aurait fallu attendre plus de 2 000 ans pour obtenir l'équivalent d'Hipparcos...

Une des principales applications des parallaxes est l'obtention de magnitudes absolues d'étoiles. La précision sur cette magnitude est proportionnelle à la précision relative sur cette parallaxe. En conséquence, gagner un facteur 2 sur la précision absolue des parallaxes revient au même que gagner un facteur 2 en distance en conservant l'ancienne précision relative. Ce gain d'un facteur 2 en distance correspond ainsi à un facteur $2^3 = 8$ en volume accessible. En clair, doubler la précision permet un gain de près d'un ordre de grandeur en nombre d'étoiles.

La mesure des parallaxes trigonométriques est la principale méthode directe de détermination des distances (c'est-à-dire sans hypothèse physique sur l'objet observé). Cependant, l'imagination des astronomes pour développer des méthodes indirectes est sans limites, et ce sujet mériterait un article entier à lui seul. Nous verrons par exemple ci-dessous comment, une année avant Bessel, Struve détermina la « parallaxe hypothétique » de 61 Cygni.

Les étoiles binaires

« Nous connaissons sa distance, la durée exacte de sa révolution, et, ce qui eût plongé les philosophes de l'antiquité dans une admiration indicible, nous connaissons aussi son poids » ^[7].

Dans son discours inaugural lors du congrès de 1889, Mouchez définit son œuvre en deux parties : 1) la Carte « destinée à faire ressortir avec le cours des siècles les variations lentes, les révolutions à longues périodes qui se produisent dans l'univers »^[8] et 2) le Catalogue, production plus rapide que la Carte, pour les étoiles trop brillantes pour qu'on puisse en mesurer avec précision par photographie la position et la magnitude. Ce que l'on peut imaginer, avec le recul, derrière les propos de Mouchez, ce sont bien évidemment les mouvements propres, mais également les mesures orbitales des étoiles binaires, pour ce qui reste, aujourd'hui encore, la principale méthode directe permettant d'estimer des masses stellaires sans aucune hypothèse reposant sur des calibrations souvent

incertaines. L'importance des étoiles doubles pour la Carte du Ciel comme pour Hipparcos mérite d'ailleurs que l'on s'y attarde^[9].

Si Ptolémée est le premier à utiliser le terme d'« étoile double »^[10], on sait que distinguer le cheval Mizar de son très proche cavalier Alcor représentait depuis plus longtemps un bon test d'acuité visuelle. Il faut attendre bien longtemps (1617) pour qu'un progrès technologique permette de résoudre Mizar elle-même comme double peu après l'invention de la lunette astronomique. L'instrumentation décuple le nombre de découvertes jusqu'à la fin du XVIII^e siècle qui voit la réalisation des premiers Catalogues d'étoiles doubles^[11].

Mais à ce moment-là, cependant, rien n'indique que les étoiles doubles observées représentent bien plus qu'un simple alignement fortuit le long de la ligne de visée, ce qu'on dénomme « couple optique ». Certes, John Michell utilise en 1767 un argument statistique démontrant l'absence de hasard dans ces associations^[12], mais William Herschel mettra plus de 20 ans à se convaincre qu'il pouvait s'agir également de ce qu'il appellera le premier, en 1802, des « systèmes binaires ». Parti en 1776 pour mesurer des parallaxes annuelles différentielles^[13], sa mise en évidence d'orbites d'étoiles binaires^[14] aboutira à un résultat tout aussi intéressant : montrer que la loi de la gravitation de Newton était réellement universelle.

Après les binaires visuelles, c'est indirectement que purent ensuite être détectées les binaires astrométriques, par la perturbation de cette « variation lente » que représentent les mouvements propres. Bessel gagnait à nouveau et concluait en 1844 que le mouvement de Sirius et Procyon était dû à leur perturbation par un compagnon obscur, « *la lumière n'étant pas une propriété réelle de la masse* »^[15].

Une des premières photographies d'étoiles doubles (Mizar et son compagnon, ainsi qu'Alcor), dans le but affiché de mesure photographique des positions des compagnons, fut obtenue le 27 avril 1857 sur une plaque au collodion, par Bond, directeur de l'observatoire de Cambridge (États-Unis)^[16]. La comparaison très favorable avec les mesures visuelles contemporaines de Struve démontra la faisabilité de la méthode.

En 1878, 27 orbites avaient été calculées^[17], leur période étant de plusieurs décennies (voire siècles). Certes, on suspectait bien que les périodes des binaires pouvaient être courtes, et le « démon » Algol avait été suspecté dès 1782

par John Goodricke d'être une binaire à éclipse, mais les binaires spectroscopiques n'avaient pas encore été découvertes^[18], et ce sont les « *révolutions à longues périodes* » qui sont alors connues.

Il n'est pas clair que ceci ait pu avoir une profonde incidence sur la Carte du Ciel mais, quand le projet commence, on a donc à la fois des milliers de couples (potentiellement binaires) connus, la certitude d'en obtenir bien plus, un moyen fiable de mesurer des positions, et donc l'espoir de découvrir, et peut-être « peser », de nombreuses binaires. Ceci explique l'enthousiasme de Flammarion indiqué en exergue.

L'intérêt des binaires visuelles rejoint cependant la discussion sur la détermination des distances dans l'univers proche. En effet, si l'on suppose connue la masse des composantes^[19], alors le rapport entre le demi-grand axe mesuré (en seconde d'arc) et celui déduit de la troisième loi de Kepler^[20], indique alors une « *parallaxe hypothétique* »^[21]. C'est Wilhelm Struve qui fut probablement le premier à en émettre l'idée^[22], avant même la première détermination d'une parallaxe trigonométrique ou d'une masse stellaire^[23] !

La Carte du Ciel

« Depuis plus de deux siècles qu'il existe, l'Observatoire de Paris, avec tous ses observateurs et tous ses calculateurs, n'a pas encore publié un seul catalogue d'étoiles ! »^[24].

Même s'il a lu Flammarion, quand le directeur de l'Observatoire Mouchez prend l'initiative d'écrire en juin 1885 à Pickering, Huggins, Cruls et Struve, c'est pour n'envisager que la réalisation d'une carte, et c'est le précurseur David Gill qui proposera d'y adjoindre un catalogue^[25]. La prospective scientifique de Mouchez est d'ailleurs plutôt réduite : « *La carte photographique du ciel est donc devenue facilement exécutable... et nous lèguerions aux astronomes de l'avenir un état exact de notre ciel à la fin du XIX^e siècle où figureraient 20 ou 25 millions d'étoiles. Il est facile d'imaginer l'extrême importance d'un tel travail et les découvertes d'un si haut intérêt qui pourraient en résulter. On peut citer, entre autres exemples, la découverte des astéroïdes...* ». Loin de mentionner des objectifs stellaires, il semble d'ailleurs que la magnitude limite 14 pour la Carte ait été choisie pour la détection des astéroïdes^[26].

Pour retrouver d'autres motivations, il faut se ramener à la présentation de Mouchez devant l'Académie début 1886 : outre les astéroïdes, il s'agit

essentiellement de cartographier, de découvrir des étoiles faibles et de mesurer des étoiles doubles. Il ajoute : « *J'ai déjà dit comment ce vaste travail, réparti sur tout le globe entre 8 ou 10 observatoires bien situés, pourrait se faire sans grand frais, en quelques années* »^[27]. Avec le recul, on apprécie les difficultés de la gestion de ce projet... toujours inachevé en 1970.

Le premier congrès, du 16 au 27 avril 1887, se penche essentiellement sur les aspects pratiques et ne détaille pas plus avant les buts scientifiques poursuivis^[28] : « *a) De dresser une carte photographique du Ciel pour l'époque actuelle, et d'obtenir des données qui permettront de déterminer les positions et les grandeurs de toutes les étoiles jusqu'à un ordre déterminé, avec la plus grande précision possible, b) de pourvoir aux meilleurs moyens d'utiliser, tant à l'époque actuelle que dans l'avenir, les données fournies par les procédés photographiques* ». Certes, c'est un rôle fondamental pour l'astrométrie que de réaliser des catalogues, mais la seule motivation pour la réalisation de l'entreprise tient dans « *les progrès réalisés dans la photographie astronomique* » et la science que l'on pourra en tirer n'est pas discutée plus avant pendant le congrès fondateur. Un siècle après, on imagine le peu de succès qu'aurait rencontré le financement du projet Hipparcos auprès des autorités de tutelle s'il avait affiché pour seule motivation d'utiliser les nouvelles techniques spatiales et pour seul but de cartographier le voisinage solaire...

Dans une belle envolée lyrique, l'astrophotographie est quasiment considérée par Mouchez comme « *une nouvelle branche de la Science* »^[29]. Et si, au même moment, certains commencent à suggérer l'utilisation de la photographie pour la détermination des parallaxes^[30], il reste effectivement une certaine résistance de la part d'éminents astrométristes. Ainsi, on prête à A. Auwers des propos terriblement négatifs : il aurait affirmé que l'application des méthodes photographiques à la recherche astronomique serait « *contre-nature* »^[31]. Il n'empêche, le gain en précision apparaît clairement : jusqu'alors, l'astrométrie avec les cercles méridiens permettait une précision d'environ 0,5" et ceci seulement jusqu'à la 9^e magnitude. En comparaison, la photographie pouvait permettre 0,3" jusqu'à 13^m ou 14^m^[32].

Après le lancement du programme Carte du Ciel, l'une des actions scientifiques marquantes du Comité sera axée sur l'astéroïde Éros et la détermination de la parallaxe solaire, mais il s'agit là d'une utilisation indirecte du projet. Il faut attendre en fait deux décennies pour que deux utilisations statistiques

voient enfin le jour dans le domaine stellaire et la structure galactique. Tout d'abord, l'étude des mouvements propres des objets de différentes positions et magnitudes dans notre « *système stellaire* » peut en effet tirer profit dès le début du xx^e siècle de la significative base de temps (quinze ans) entre les premières cartes et celles qui ont été refaites pour une raison ou une autre^[33].

De plus, à partir du milieu des années 1920, une série d'articles scientifiques exploitant les différentes zones se penche sur les étoiles doubles, que ce soit pour lister leur découverte ou bien pour étudier leur distribution^[34]. En rétrospective, s'il note que 20 000 couples ont été découverts, Worley se plaint néanmoins^[35] que ces études aient été à la fois incomplètes (en termes de zones) et non cohérentes (en termes de limites de séparations et magnitudes).

À cette époque, il devient également clair que la Carte du Ciel ne va pas assez profond en magnitude : en 1925, Hubble contribue au Grand Débat avec des céphéides de magnitude 19,05 dans NGC 6822 !

Donc, cinquante années après le lancement de la Carte, on constate que l'intérêt scientifique se concentre essentiellement sur les mouvements propres^[36], et cet intérêt croît avec le temps, car, comme le bon vin, de bonnes mesures de positions gagnent à vieillir.

Pour les estimations de luminosité intrinsèque, faute de parallaxes, il faut toujours recourir à des expédients. Par exemple, si l'on dispose de mouvements propres, le « mouvement propre réduit » permet d'éliminer la distance dans la loi de Pogson *via* la vitesse tangentielle, $H = m + 5 \log |\mu| + 5 \sim M + 5 \log |V_T| - 3,4$, une méthode inventée par Hertzsprung^[37]). En indiquant en abscisse la couleur d'une étoile et le mouvement propre réduit en ordonnée, cet ersatz d'un diagramme H-R en est voisin si les étoiles ont toutes la même vitesse, et sinon permet de visualiser des populations différentes. Mais il s'agit là d'un pis aller. Plus précises, les méthodes comme « *le point convergent* » ne s'appliquent qu'aux amas d'étoiles, la « *relation période-luminosité* » qu'à certains types d'étoiles variables. Bref, pour les applications astrophysiques, la troisième dimension pour toutes les étoiles de la Carte manque cruellement et motivera le projet Hipparcos.

Hipparcos et Tycho

Origines des projets

Dans les années 1970, la France est à nouveau à l'origine d'un grand projet d'astrométrie internationale, la mission Hipparcos. L'idée d'utiliser un satellite dans l'espace pour mesurer, avec plus de précision qu'au sol, les déplacements angulaires des étoiles, discutée par les Professeurs Pierre Lacroute et Pierre Bacchus, alors à l'observatoire de Strasbourg, a été proposée au CNES (Centre National d'Études Spatiales) en 1966 par P. Lacroute^[38]. Ce premier projet a fait l'objet d'une étude de faisabilité au CNES en 1969-1970^[39]. Le concept étudié comprenait déjà trois des principes de base retenus par la suite : un miroir complexe permettant l'observation simultanée d'étoiles dans deux champs du ciel situés à 90° l'un de l'autre, un satellite balayant le ciel, et la présence, dans le plan focal, d'une grille composée de bandes alternativement opaques et transparentes qui modulait la lumière reçue des étoiles observées. Deux améliorations importantes ont été suggérées par E. Høg en 1975^[40] : l'utilisation d'un dissec-teur d'images plutôt que d'un simple photomultiplicateur (permettant de sélectionner les étoiles à observer et d'améliorer sensiblement le rendement de la détection), et la simplification de la grille modulatrice (à une dimension et non plus en chevron).

- *Le contexte scientifique*

À la fin des années 1960, comme on l'a vu, les mesures de parallaxes trigonométriques obtenues au sol montraient leur limite. Des mesures étaient disponibles pour environ 7 000 étoiles, mais pour seulement 5 % d'entre elles, les plus proches du Soleil (moins de 10 pc), la distance était connue à mieux que 10 % près. Pour moins de 300 objets, la magnitude absolue pouvait être calculée avec une précision suffisante pour être utilisée par la suite pour calibrer les relations type spectral - luminosité et couleur – luminosité^[41]. De plus, la majorité des étoiles pour lesquelles des données précises de distance étaient disponibles étaient des étoiles brillantes (magnitude apparente entre 5 et 10) et des étoiles de types spectraux communs au voisinage solaire (étoiles de la séquence principale de type G et K)^[42]. La situation pour les mesures de mouvements propres était un peu meilleure, mais les mêmes biais se retrouvaient : les mouvements propres précis étaient peu nombreux et seulement disponibles pour les étoiles de type commun. De plus, il y avait une sur-représentation majeure d'étoiles à grande vitesse. Tout cela limitait l'utilisation de ces mesures dans les études de

cinématique et de dynamique galactique, et de nombreuses méthodes indirectes, plus ou moins fiables, devaient être utilisées pour estimer les distances.

- *Pourquoi observer depuis l'espace*

Observer depuis l'espace permet d'échapper à un certain nombre de problèmes inévitables pour un instrument situé au sol : la turbulence et la réfraction atmosphériques, la flexion des instruments due à la pesanteur, les irrégularités du mouvement de la Terre. De plus, il est évidemment impossible au sol d'observer toutes les parties du ciel avec le même instrument, et les différences systématiques constatées entre les mesures de parallaxes trigonométriques obtenues dans différents observatoires restaient inexpliquées. Aux comportements différents des divers instruments au sol au cours des observations de parallaxes (dans des positions où les instruments sont spécialement sensibles aux problèmes de flexion), s'ajoute un problème intrinsèque aux mesures au sol : les instruments astrométriques sont des instruments à petit champ, et le mouvement de l'étoile-cible est mesuré par rapport à très peu d'étoiles de fond, situées à très petite distance angulaire. Au contraire, observer depuis l'espace avec le principe adopté pour Hipparcos et pour Gaia permet d'observer des étoiles partout dans le ciel et de faire de l'« astrométrie globale » : les positions des étoiles observées dans un champ sont rattachées non seulement aux étoiles observées dans le même champ, mais aussi dans le champ « conjugué » (situé à 58° pour Hipparcos, à 106° pour Gaia). On mesure donc directement de grands angles, et l'erreur relative sur la mesure est plus petite. De plus, toutes les observations sont raccordées entre elles par le principe même du mode opératoire de l'instrument, et l'ensemble du ciel est observé par un instrument unique.

En conclusion, l'espace permettait d'envisager un saut qualitatif et quantitatif majeur : précision meilleure d'au moins un ordre de grandeur, et nombre d'objets, pour lesquels cette précision devenait accessible, multiplié par 50 à 100.

- *La prospective scientifique*

Comme déjà souligné plus haut, une prospective scientifique approfondie a été démarrée dès avant la proposition d'Hipparcos à l'Agence Spatiale Européenne (ESA) en 1977 par l'étude des potentialités des diverses solutions techniques proposées dans les différents domaines d'applications (systèmes de référence^[43], système solaire^[44], astronomie stellaire et galactique^[45]). Par la suite, plusieurs colloques ont été dédiés, en partie ou en totalité, à une prospective approfondie qui a permis de mieux définir les performances espérées de la

mission envisagée^[46] et de les comparer à celles qui étaient attendues du télescope spatial Hubble^[47].

- *La mission Hipparcos*

Le CNES avait conclu, à la suite de son étude préliminaire, que la proposition d'observer depuis l'espace pour effectuer des mesures astrométriques était très intéressante mais pas à la portée d'un seul pays. Le projet, tirant bénéfice à la fois des nombreux arguments scientifiques développés et des études techniques réalisées, fut alors présenté par J. Kovalevsky à l'ESRO (maintenant ESA) en 1974^[48].

Il faut replacer cette proposition ambitieuse dans le contexte de l'époque : l'astrométrie n'était absolument pas considérée comme une science spatiale, contrairement à l'observation dans les domaines de longueur d'onde X ou infra-rouge, inaccessibles depuis le sol, ou à l'exploration du système solaire. De plus, si beaucoup d'astrophysiciens avaient été convaincus par les promoteurs de la mission de l'originalité du projet et de son impact potentiel sur l'astrophysique, de nombreux autres continuaient de considérer l'astrométrie comme une science désuète tout à fait incapable de contribuer à notre compréhension du Monde. Pour exemple, on peut reprendre une citation rapportée par E. Høg en 1975^[49] : « *Un astrophysicien éminent, s'exprimant au nom de nombreux de ses collègues, dit : "Arrêtons l'astrométrie pour cent ans et attendons que tous les astrométristes soient morts. À ce moment-là, il sera possible de prendre un nouveau départ" »*.

L'ESA a néanmoins l'audace de sélectionner le projet en 1980, alors même qu'une sonde vers la comète de Halley était en compétition (elle sera sélectionnée un peu plus tard : ce sera la mission Giotto), et bien que de nombreux scientifiques prétendent qu'Hipparcos ne marcherait jamais, en particulier que le miroir complexe qui rassemblait les deux champs du ciel dans le plan focal était infaisable.

Hipparcos (Fig. 8.1 et 8.2) a cependant été réalisé avec succès par l'ESA, avec Matra Marconi Space^[50] et Alenia Spazio^[51], selon les spécifications d'origine, et lancé par Ariane 4 le 8 août 1989 depuis Kourou. Malgré la défaillance du moteur d'apogée qui a contraint le satellite à rester sur une orbite très elliptique plutôt que d'atteindre l'orbite géostationnaire prévue, des données scientifiques ont été obtenues pendant 37 mois, de novembre 1989 à mars 1993, et les précisions sur les positions, parallaxes trigonométriques et mouvements propres ont atteint mieux que 1 mas. Elles sont deux fois meilleures que les valeurs des spécifications données comme référence aux industriels, alors que le temps

total d'observation n'a été que d'environ 65 % du temps total prévu sur l'orbite géostationnaire (il était impossible d'observer pendant les traversées des ceintures de radiation de van Allen). Le catalogue final a été publié en juin 1997. Les positions, parallaxes trigonométriques, mouvements propres et magnitudes des 118 219 étoiles observées par Hipparcos y sont rassemblés, ainsi que de très nombreuses informations sur la duplicité et la variabilité de ces étoiles.

Des distances connues à mieux que 10 % y sont disponibles pour 21 000 étoiles. Il y en avait 500 à 1 000 avant 1995 (incertitude due aux erreurs systématiques non maîtrisées). Grâce à la mission Hipparcos, l'astrométrie est maintenant considérée comme un outil fondamental pour l'astrophysique.

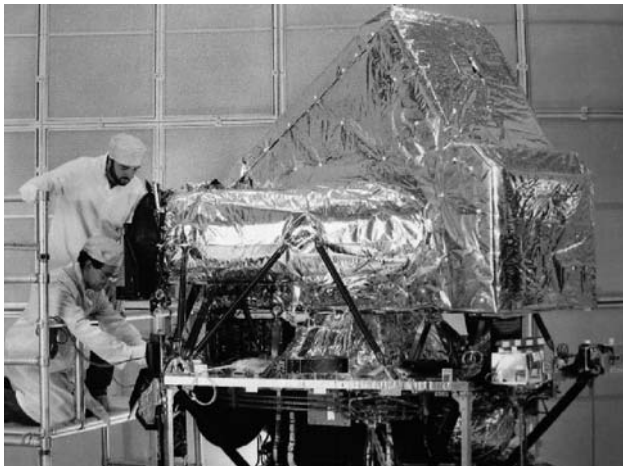


Figure 8.1. Intégration du télescope Hipparcos en 1987.

L'expérience Tycho^[52], à bord du même satellite, utilisait les repéreurs d'étoiles de l'instrument, et observait systématiquement toutes les étoiles traversant ces champs dans deux couleurs proches des classiques B et V. Tycho a donc observé beaucoup plus d'étoiles qu'Hipparcos, mais pendant des temps plus courts, donnant donc une moins bonne précision. Le Catalogue Tycho-2 a été obtenu par la suite, en re-réduisant plus efficacement les mêmes observations, en déterminant les positions par rapport au système de référence Hipparcos, et en utilisant l'Astrographic Catalogue et 143 autres catalogues de positions pour obtenir des mouvements propres plus précis^[53].

Le tableau 8.2 compare les performances des catalogues Hipparcos^[54], Tycho^[55] et Tycho-2^[56] :

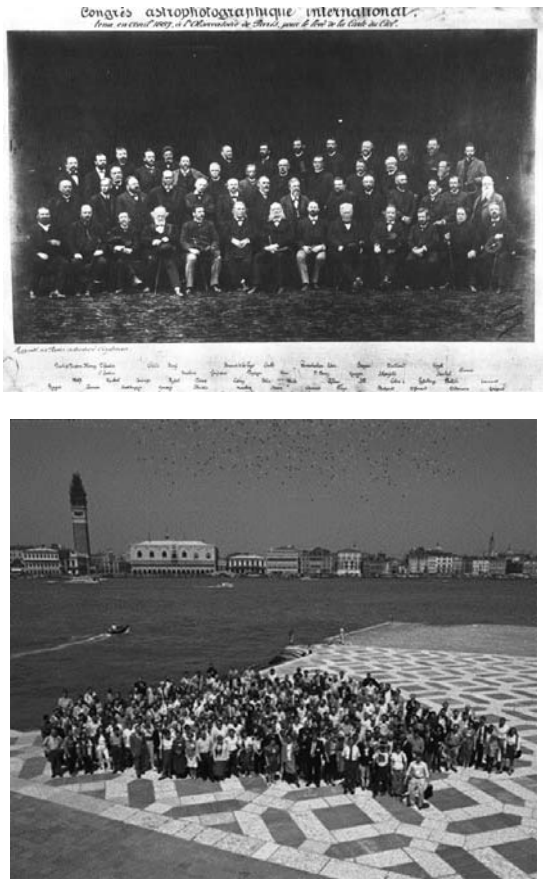


Figure 8.2. Le congrès fondateur de la Carte du Ciel en 1887 en haut.
Le congrès des premiers utilisateurs des résultats d’Hipparcos à Venise en 1997, en bas.

Tableau 8.2. Performances des catalogues Hipparcos, Tycho et Tycho-2.

	Hipparcos	Tycho	Tycho-2
Précision moyenne sur les positions	1 mas	25 mas	60 mas
Précision moyenne sur les parallaxes	1 mas	31 mas	-
Précision sur les mouvements propres	1 mas/an	30 mas/an	2,5 mas/an
Nombre d’objets	118 000	1 050 000	2 500 000
Mode d’observation	étoiles sélectionnées	observation systématique	observation systématique
Magnitude limite V	12,4	11,5	12,5
Complétude	7,3 - 9,0	11,0	11,5
Photométrie large bande	Hp	V _T , B _T	V _T , B _T

• *Comparaison Carte du Ciel – Hipparcos (Fig. 8.3)*

Une autre comparaison intéressante concerne la précision obtenue sur les positions par les deux entreprises ; dans un régime dominé par le bruit de photons, l'erreur astrométrique est proportionnelle^[57] à $(\lambda/D)/\sqrt{\phi\tau}$ où la longueur d'onde λ et le diamètre D sont voisins pour la Carte du Ciel et pour le satellite ($D = 33$ cm contre 29 cm pour Hipparcos). Avec 2,5 millions d'étoiles dans Tycho-2, et une mission ayant duré 37 mois avec seulement 65 % du temps d'observation utile, chaque étoile a bénéficié en moyenne de $\tau = 25$ s en temps d'exposition. En comparaison, les plaques de l'Astrographic Catalogue (plus de 4,6 millions d'étoiles dans l'AC-2000) étaient exposées plus de 4 minutes. Le nombre de photons collectés par unité de temps ϕ dépend de la surface collectrice, et du rendement, sans doute nettement moins bon que 1 %^[58] pour les plaques, de l'ordre de 0,8 % pour Hipparcos^[59]. Mais avec moins de photons collectés au final (ceci étant illustré par le nombre d'objets détectés), Tycho-2 ($\sigma = 60$ mas en moyenne) n'aurait pas dû gagner devant l'AC-2000 ($\sigma > 150$ mas), si l'on se basait sur ce seul critère. La différence se joue sur l'amélioration des conditions et techniques d'observations et le contrôle des erreurs systématiques qui en résultent.

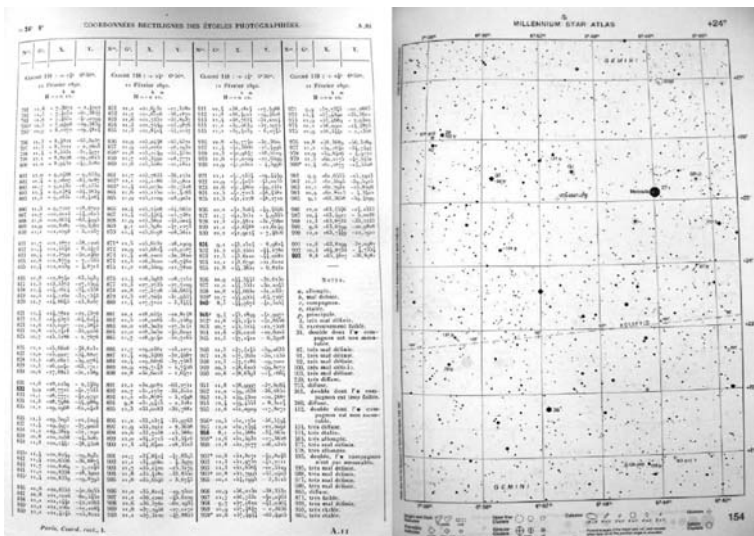


Figure 8.3. Une des pages du « Catalogue Photographique du Ciel », zone de Paris, T I, 1902, à gauche. La même zone du ciel, représentée à partir des observations d'Hipparcos/Tycho dans le Millennium Star Atlas en 1997, à droite.

La préparation d'Hipparcos et de Tycho

Les scientifiques étaient responsables de trois aspects de la préparation de la mission : la préparation du programme d'observation d'Hipparcos (Catalogue d'Entrée), la réduction des données d'Hipparcos et la réduction des données de Tycho. Quatre Consortia ont été chargés par l'ESA de ces aspects (deux Consortia ont été chargés en parallèle de la réduction des données d'Hipparcos). L'implication française a été très forte dans trois de ces Consortia : la construction du Catalogue d'Entrée (responsable C. Turon)^[60], la réduction des données d'Hipparcos (J. Kovalevsky était le responsable de l'un des deux Consortia)^[61], et la construction du Catalogue d'Entrée de Tycho (D. Egret)^[62].

- *La Carte du Ciel dans la préparation d'Hipparcos*

La Carte du Ciel n'a pas du tout été utilisée dans le cadre de la préparation de la mission Hipparcos. Cela a été envisagé dans le cadre de la construction du Catalogue d'Entrée d'Hipparcos. Contrairement au Catalogue d'Entrée de Tycho qui n'a été préparé « que » pour servir de première étape à la réduction des données de Tycho, le Catalogue d'Entrée d'Hipparcos a été construit pour être le programme d'observation du satellite. Les étoiles de ce Catalogue ont été sélectionnées d'abord sur critères scientifiques, mais aussi pour assurer un fonctionnement optimal du satellite. Le satellite balayant le ciel continûment, le temps d'observation par degré carré de ciel était limité. Par suite, le nombre moyen d'étoiles observables par degré carré de ciel était limité à trois, et la distribution de leurs magnitudes devait être adaptée au temps d'observation total disponible dans chaque champ. La construction du Catalogue d'Entrée d'Hipparcos a donc été une entreprise complexe, effectuée de façon itérative, et qui a exigé de rassembler *a priori* des données assez précises sur les étoiles finalement sélectionnées^[63]. En effet, pour pouvoir pointer le satellite efficacement vers une étoile du programme, sa position à l'époque d'observation (1989 à 1993) devait être connue avec une précision suffisante, et, pour lui allouer un temps d'observation permettant d'espérer une bonne précision sur les paramètres astrométriques, il fallait que sa magnitude soit, elle aussi, connue assez précisément.

En 1981, les positions et magnitudes des étoiles proposées à l'observation avec Hipparcos n'étaient pas, loin de là, connues avec la précision requise. L'une des tâches du Consortium « Catalogue d'Entrée » a été de rassembler les données indispensables, soit dans la littérature existante, soit en organisant des campagnes d'observation au sol^[64]. La Carte du Ciel n'a pas pu être utilisée dans

ce contexte. En effet, la précision requise sur les positions à l'époque 1989 (date de lancement du satellite) était de une seconde de degré alors que le Catalogue Astrographique offre une précision d'environ 0,35 seconde de degré à l'époque moyenne 1907, et pas de mouvement propre. Ce sont les instruments méridiens automatiques Carlsberg (coopération Danemark, Royaume-Uni et Espagne) et de l'Observatoire de Bordeaux qui ont été utilisés pour de nouvelles mesures, ainsi que les surveys du ciel sur plaques photographiques prises sur des télescopes de Schmidt par les observatoires de Palomar aux États-Unis pour l'hémisphère Nord, et par l'European Southern Observatory (ESO) pour l'hémisphère Sud. En effet, leurs époques moyennes d'observation étaient suffisamment récentes pour que la précision d'une seconde de degré en 1989 soit respectée^[65].

- *Le Centre de Données de Strasbourg dans la préparation d'Hipparcos.*

Si la Carte du Ciel n'a pas été utilisée dans le cadre de la préparation d'Hipparcos et Tycho, une autre grande entreprise française a par contre été très fortement mise à contribution : le Centre de données de Strasbourg (CDS)^[66]. Dès 1969, J. Delhaye, R. Cayrel, et A. Blaauw^[67] avaient reconnu l'importance, en particulier pour les études de la Galaxie, de rassembler les données disponibles sur les étoiles, ainsi que la source et la qualité de ces données. Cette rencontre de pionniers a mené J. Delhaye, alors directeur de l'INAG (maintenant INSU), à créer le CDS en 1972. La base de données SIMBAD en a été la première réalisation, rassemblant les différentes appellations et les données observées de chaque étoile considérée. Cette base de données a été un atout crucial dans la construction du Catalogue d'Entrée d'Hipparcos et la compilation du Catalogue d'Entrée de Tycho, et utilisée abondamment pour faire le point sur les données déjà disponibles avant de définir les programmes d'observations au sol à effectuer avant le lancement du satellite. En quelque sorte successeur de la Carte du Ciel, le CDS met à disposition des astronomes, et conserve pour les générations futures, les données observées depuis 1972 pour des millions d'objets (étoiles, galaxies, objets nébuleux).

Toujours à Strasbourg, le lien entre la Carte du Ciel et Hipparcos est également présent en la personne de Pierre Lacroute, celui qui informatise et réduit les données de l'Astrographic Catalogue des zones d'Oxford, Paris, Bordeaux, Toulouse et Alger^[68], et qui, dans le même temps, est le pionnier de l'astrométrie spatiale.

Il est remarquable que la forte implication française dans les grands projets d'astrométrie se perpétue de génération en génération. F. Mignard, un des artisans du traitement des données d'Hipparcos, est maintenant le président du

Consortium DPAC (Data Processing and Analysis Consortium) mis en place pour analyser les données de Gaia, et la contribution française au Consortium est de loin la plus importante, tant en nombre de scientifiques que de contributions aux différents aspects de l'analyse des données de Gaia (qui ne sont pas seulement astrométriques).

Les domaines d'application

Les données d'Hipparcos ont apporté une description 3D du voisinage solaire sans précédent, et ont été utilisées dans de nombreux domaines de l'astronomie et de l'astrophysique. Ce n'est pas le lieu ici de détailler ces résultats. Seul un aperçu de ces applications est donné ci-dessous :

- *Systèmes de référence :*

- Réalisation optique de l'*International Celestial Reference System*.

- *Physique galactique :*

- 40 % des étoiles du *Catalogue of Nearby Stars* ^[69] (supposé rassembler les étoiles plus proches du Soleil que 25 pc) étaient en fait au-delà de 25 pc (certaines beaucoup plus loin) : la densité locale en étoiles était surestimée.

- Les distances des amas globulaires étaient sous-évaluées, donc leurs âges surévalués (les âges sont maintenant évalués à 12-14 Gyr, contre 17-18 auparavant). Cette conclusion, associée à une sous-estimation générale des distances dans notre Galaxie, permettait enfin de lever la contradiction dérangeante avec l'âge de l'Univers (l'âge d'expansion estimé pour l'Univers était précédemment plus petit que l'âge estimé pour les amas globulaires).

- Le potentiel galactique a été révisé, montrant qu'il n'y avait pas de place, localement, pour de la matière noire dans le disque galactique.

- Le gauchissement de notre Galaxie a été mesuré.

- Des courants d'étoiles ont été identifiés dans le halo, apportant la preuve de la formation hiérarchique de notre Galaxie (un groupe d'étoiles est entré en collision avec notre Galaxie et s'est incrusté dans le halo).

- *Échelle de distance :*

- Étude détaillée de la structure 3D de l'amas des Hyades et détermination de sa distance moyenne.

- Détermination de la distance moyenne de plusieurs amas ouverts proches.

- Nouvelle calibration de la relation période-luminosité des Céphéïdes.
- Nouvelles déterminations de la distance au Grand Nuage de Magellan (encore très mal connue).

- *Physique stellaire :*

- Âge et composition des Hyades.
- Recalibration du diagramme H-R.
- Meilleure caractérisation de la structure et de l'évolution des étoiles.
- Des milliers de nouvelles étoiles variables.
- Des milliers de nouvelles étoiles doubles.
- Première observation photométrique d'une planète extra-solaire (transit devant HD 209458)... sans le savoir.
- Détermination précise des distances des étoiles autour desquelles orbitent des planètes.
- Creusement du « désert » des naines brunes.

- *Système solaire :*

- Gain d'un facteur 10 en précision sur les positions de 48 petites planètes, meilleure détermination de leurs orbites.
- Amélioration de la prédiction de l'impact de la comète Shoemaker-Levy sur Jupiter.

- *Physique fondamentale :*

- Confirmation de la valeur 1 du paramètre γ de la relativité générale à 10^{-3} près.

Hipparcos, le projet

Les complexités techniques s'effacent parfois devant les problèmes sociologiques. Hipparcos, le projet, devait rassembler une communauté n'ayant jamais travaillé sur un projet spatial : analyser et dimensionner les tâches et les réaliser en respectant un calendrier ne fait pas toujours partie de la culture de la recherche. De plus, les communautés devant travailler ensemble étaient très diverses, à cause de l'aspect transversal de l'astrométrie^[70]. Enfin, il fallait maintenir la motivation pendant 15 ans en acceptant que les avancées de la science en parallèle soient exploitées par d'autres.

Le projet bénéficiait cependant d'atouts indéniables formant autant de facteurs de réussite, et qui explique la sélection de cette mission. Tout d'abord,

l'idée de l'astrométrie spatiale est originale ; non seulement l'amélioration de la qualité des données était considérable, mais elle concernait un éventail très large d'objets. Corollaire : les applications devenaient très variées et s'attaquaient à des problèmes de fond comme la nature et l'évolution des étoiles, la structure et l'évolution de la Galaxie, et la place de celle-ci dans l'Univers. Le projet avait également prévu une préparation approfondie^[71] : des campagnes d'observations au sol préliminaires furent réalisées, accompagnées par l'utilisation de données complémentaires (par exemple plaques de Schmidt) ou bien par des simulations détaillées et suivies par des tests et calibrations nombreux.

Les atouts ne servent à rien si l'on ne se donne pas les moyens organisationnels de la réussite. Ceux-ci étaient au moins au nombre de quatre : confier chaque tâche essentielle à un institut spécialiste ; organiser des échanges réguliers entre scientifiques, mais aussi avec les industriels ; avoir la possibilité de se consacrer au projet à plein temps, pendant le nombre d'années nécessaire ; respecter le rôle essentiel du « *Scientifique du projet* »^[72] faisant l'interface scientifiques/industriels pour optimiser les caractéristiques des instruments à bord, et l'interface entre scientifiques.

L'autre atout de la communauté française qui a travaillé sur Hipparcos a été le soutien sans faille de ses autorités de tutelle et des collaborateurs :

- soutien financier du CNES (en particulier, missions) dès avant la création des Consortia scientifiques ;
- appui aux deux Français dirigeant deux des quatre Consortia scientifiques ;
- soutien « stratégique » du CNES pour les simulations numériques : simulation de l'observation avec le satellite, production de données simulées, simulation de la réduction des données, puis traitement de données (ingénieurs et temps de calcul CNES) ;
- soutien en personnel techniques : redéploiements, mais aussi recrutements CNRS ;
- recrutement de jeunes chercheurs quand les données ont été disponibles, pour rentabiliser cet investissement lourd sur 15 ans ;
- soutien à long terme du Centre de Données de Strasbourg (aide à l'utilisation intensive de SIMBAD, aide à la construction d'une « sous-base » de SIMBAD, la base de données INCA – pour Input Catalogue, inclusion du Catalogue d'Entrée puis du Catalogue de Sortie Hipparcos dans SIMBAD).

Enfin, un autre élément essentiel du succès a été la volonté des promoteurs du projet de motiver la communauté française, et européenne, pour l'utilisation des données futures du satellite et de la faire réfléchir dès avant la sélection du projet par l'ESA à toutes les applications possibles de l'utilisation d'une telle quantité de données astrométriques d'une précision sans précédent.

Après 20 ans de travail pour environ 200 scientifiques, plusieurs centaines d'ingénieurs, techniciens, administratifs, et 1 800 ingénieurs Matra-Alenia et de l'ESA, le résultat est là ! Le coût « industriel » (fabrication, lancement, opérations) a représenté un total équivalent à 687 M€ (2006)^[73]. En comparaison, la partie « scientifique » correspond à 60 hommes-ans/an sur 16 ans pour les 4 Consortia, soit 960 hommes-ans (dont ~450 hommes-ans pour le Catalogue d'Entrée^[74]) ; ceci représenterait un coût consolidé (charges salariales, infrastructures, missions) plus incertain, mais d'environ 112 M€^[75], soit une faible fraction du coût industriel. Pour Gaia, le coût approuvé est de 557 M€ (pour l'ESA, hors budget de la réduction des données, à charge des pays).

En comparaison, réussir à identifier le coût de la Carte du Ciel est sans doute une gageure, compte tenu du nombre d'observatoires impliqués et de la durée de l'opération. Mais T. Weimer indique que les bureaux de mesure (un chef et 4 calculatrices) mesuraient annuellement 30 000 étoiles environ^[76]. Sur cette base, on arriverait donc par un calcul rapide à 1 400 femmes-ans rien que pour la mesure des 8,6 millions de positions d'étoiles de l'Astrophysical Catalogue... Quant à la saisie informatique, l'Institut Sternberg y consacra 50 hommes-ans^[77].

La deuxième vie de la Carte du Ciel

L'arrivée d'Hipparcos

On l'a dit, le projet Carte du Ciel ne fut pas utilisé pour la « fabrication » du Catalogue d'Entrée d'Hipparcos et du Catalogue Tycho. Mais, en revanche, Tycho fut un peu ce qui rentabilisa le legs « *aux astronomes de l'avenir [de l']état exact de notre ciel à la fin du XIX^e siècle* ».

Si la majorité des plaques de la Carte du Ciel (7 500 plaques de $2^\circ \times 2^\circ$, complétude jusqu'à $m_B = 14.5$, époque moyenne 1912)^[78] n'ont jamais été

mesurées, celles de l'Astrographic Catalogue (22 652 plaques de $2^\circ \times 2^\circ$, $60''/\text{mm}$, époque médiane 1904) ont été mesurées manuellement, et assurent une complétude jusqu'à $m_B = 11.0$ à l'époque moyenne 1907 avec une précision allant de 200 à 400 mas^[79]. Au moment de l'arrêt du projet, les données de l'Astrographic Catalogue étaient cependant difficilement utilisables, car non informatisées, et Herget allait jusqu'à suggérer de délocaliser leur saisie dans une nation « *sous-développée* »^[80]. C'est la première raison de la faible utilisation astrométrique de la Carte du Ciel, la seconde tenant à l'absence d'un système de référence suffisamment dense qui permette de convertir les positions x, y sur les plaques en « bonnes » coordonnées équatoriales. Entre 1987 et 1990, l'Institut moscovite Sternberg saisit et met sur bande magnétique les 270+ volumes imprimés de l'AC.^[81] l'US Naval Observatory en fait de même pour une partie, et on se souvient que le CNRS avait également participé à ce travail dans le passé. Ceci règle le premier point, et, en 1997, les Catalogues Hipparcos/Tycho voient le jour, donnant ainsi le système de référence.

Le catalogue AC 2000^[82], plus de 4,6 millions d'étoiles, est alors obtenu après la réduction de ces coordonnées rectilignes (x, y) en coordonnées célestes (α, δ), et alignement sur le système de référence Hipparcos. Puis l'Astrographic Catalogue est combiné avec Tycho pour obtenir les catalogues ACT^[83] et TRC^[84] d'environ un million d'étoiles chacun avec des mouvements propres très précis (une base de temps d'environ 90 ans). Enfin, en 2000, Tycho-2^[85] marque l'aboutissement du processus. D'une part, le traitement des données de Tycho est refait, en superposant les observations obtenues aux différents transits du satellite. D'autre part, les données sont combinées avec l'Astrographic Catalogue et 143 autres catalogues intermédiaires. Plus de 2,5 millions d'étoiles avec une précision d'environ 2,5 mas/an sur le mouvement propre sont ainsi mises à la disposition de la communauté.

Les applications sont très diverses : tout ce qui concerne l'utilisation de la cinématique en structure galactique (amas, ou autres traceurs), mais la Carte du Ciel continue également à contribuer à l'étude des étoiles binaires par la possibilité de découpler le mouvement propre à long terme de ce qui est mesuré à court terme : la contamination entre mouvement propre et mouvement orbital peut ainsi être détectée^[86]. À titre d'exemples individuels, l'utilisation de Tycho-2 permet de préciser la masse du compagnon de HD 127506 et de confirmer son statut de naine brune^[87]. Autre exemple plus exotique, R Canis Majoris est une binaire à éclipses, mais Hipparcos s'aperçoit également

d'une accélération de son mouvement astrométrique. À l'aide de la courbe de lumière, on peut mettre en évidence la présence d'un troisième corps orbitant en 93 ans : suivant que la binaire à éclipse se rapproche ou s'éloigne, le temps que met sa lumière à nous parvenir est en avance ou bien en retard ; c'est grâce à l'ensemble des mesures astrométriques effectuées depuis un siècle, dont deux mesures de l'Astrographic Catalogue, que l'on peut mieux contraindre l'orbite^[88].

Outre l'Astrographic Catalogue dont la complétude permet des études statistiques sur tout le ciel, certaines des plaques de la Carte du Ciel disponibles sont maintenant également exploitées, donnant des mouvements propres pour un grand nombre d'étoiles^[89]. Certains utilisent même un scanner du commerce pour mesurer ces plaques^[90] !

Les mesures de la Carte du Ciel peuvent permettre de découpler le vrai mouvement propre du mouvement instantané (tel qu'on peut le mesurer avec des observations astrométriques de courte durée) absorbant une part du mouvement orbital (Fig. 8.4).

Scientométrie

Il est extrêmement difficile de recenser exhaustivement toutes les publications ayant fait usage de la Carte du Ciel. A. Fresneau^[91] cite 77 publications principales jusqu'à 1998 touchant à des domaines comme le milieu interstellaire, la structure galactique, les amas ouverts ou globulaires, le système de référence optique ou les aspects de réduction des données. Effectuer une recherche

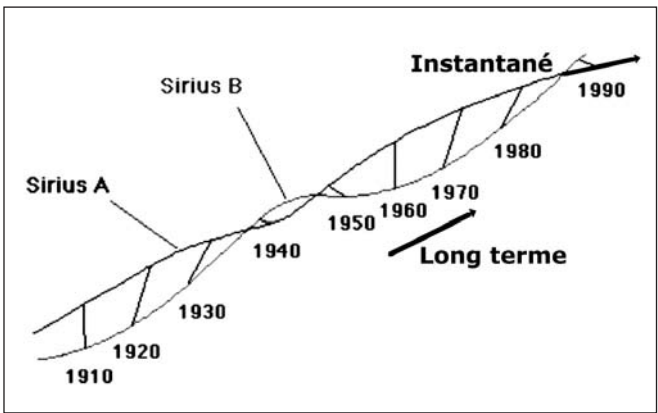


Figure 8.4. Le mouvement propre de Sirius A et B.

bibliographique automatisée est difficile car la Carte du Ciel n'est pas caractérisée par une ou des références bibliographiques auxquelles les auteurs aient pu se référer, et les listes de citations ne sont de toute manière pas complètes. Ce qui est informatisé, en revanche, ce sont les résumés des publications (Fig. 8.5), mais il est clair que l'usage des Catalogues n'est pas systématiquement mentionné ; les chiffres qui suivent représentent donc une limite inférieure.

Sans préjuger du réel contenu scientifique, l'ADS^[92] recense ainsi entre 1888 et 2006 environ 140 articles mentionnant la Carte du Ciel dans leur résumé, et 225 mentionnant l'Astrophysical Catalogue (337 au total). Ceci est à mettre en comparaison avec, sur la période 1978-2006, 3 736 publications mentionnant Hipparcos et 670 concernant Tycho (dont 237 pour Tycho-2). Certes, l'inflation actuelle du nombre de publications désavantage les publications anciennes et ne représente pas un gage de qualité, mais c'est néanmoins plus d'un ordre de grandeur qui sépare le nombre de publications des deux projets. Il faut noter que les 337 articles mentionnés ci-dessus ont eux-mêmes été cités par 1 377 articles, soit un taux d'impact total d'environ 4. En comparaison, le taux d'impact des articles mentionnant Hipparcos ou Tycho est supérieur à 9.

Le futur : Gaia, histoire et évolution de la Galaxie

Dès le début des années 1990, les scientifiques ont commencé à réfléchir aux applications scientifiques de l'astrométrie à quelques μ s de précision^[93] et aux progrès techniques pouvant permettre l'amélioration des précisions atteintes avec Hipparcos, déjà simplement en remplaçant le détecteur photométrique

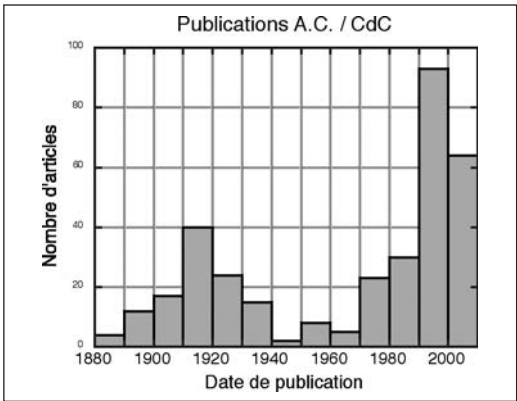


Figure 8.5. Évolution du nombre de publications citées dans l'ADS mentionnant la Carte du Ciel ou l'Astrophysical Catalogue dans leur résumé.

d'Hipparcos par un CCD^[94] (détecteur électronique beaucoup plus sensible qu'un photomètre). Le concept de la mission Gaia était présenté et retenu par l'ESA en 1995 dans le contexte du programme « Horizon 2000 Plus » (planification à long terme du Programme Scientifique de l'ESA)^[95]. Après quatre années d'études sur les applications scientifiques et de développements technologiques, Gaia est sélectionnée comme l'une des deux « Pierres Angulaires » du Programme Scientifique de l'ESA^[96]. Son lancement est prévu pour fin 2011.

Cette nouvelle mission construit sur l'expérience de la mission Hipparcos : même soin apporté à l'examen préalable des potentialités scientifiques du projet, même principe pour le satellite (à balayage) et le télescope (deux champs du ciel combinés dans le plan focal), afin d'obtenir de l'astrométrie globale et d'utiliser de manière optimale le temps d'observation disponible. Elle pare aussi, dès sa conception, aux problèmes rencontrés par Hipparcos : détection systématique à bord (pour une meilleure statistique de l'échantillonnage de la Galaxie), des performances accrues pour la photométrie (afin de déterminer, en parallèle aux paramètres astrométriques, les caractéristiques physiques des objets observés) ; et enfin, un instrument spectroscopique à bord pour obtenir directement par effet Doppler la vitesse radiale (troisième composante de la vitesse spatiale des étoiles).

Les progrès de la technologie (mode de détection, puissance de calcul disponible à bord, etc.) et des miroirs nettement plus grands que celui d'Hipparcos (miroirs rectangulaires de 1,45 m × 0,50 m, à comparer au miroir de 29 cm de diamètre d'Hipparcos) entraînent un bond spectaculaire tant dans la précision attendue (20 millionnièmes de seconde de degré à la magnitude 15) que dans le nombre d'objets observables (un milliard d'objets). Ce relevé complet du ciel jusqu'à la magnitude 20 va permettre un échantillonnage sans précédent de notre Galaxie, depuis les objets les plus faibles présents dans le voisinage solaire jusqu'aux objets les plus lointains de notre Galaxie, et même des galaxies voisines du Groupe Local, en passant par l'observation d'étoiles dans toutes les phases de l'évolution stellaire, y compris les plus rapides.

Les applications scientifiques de cette masse de données sont innombrables. L'objectif premier est de décrypter la Galaxie, ses différentes composantes, leur structure, leur cinématique, leur dynamique, l'histoire de leur formation et de leur évolution. Mais la mission apportera aussi une moisson de données sans précédent à plusieurs autres domaines :

– La physique stellaire : des magnitudes absolues, des paramètres atmosphériques (température et pression par exemple) et l'abondance des éléments qui composent l'atmosphère des étoiles observées. Cet ensemble de paramètres, très précisément déterminés, permettra de tester les modèles de structure interne et d'évolution des étoiles.

– Un inventaire complet des étoiles du voisinage solaire, jusqu'aux plus faibles, avec la détection de leurs compagnons éventuels et la détection systématique des planètes géantes en orbite autour de ces étoiles (on attend de l'ordre de 10 000 nouvelles détections).

– Le système solaire : détermination des orbites pour plus de 100 000 astéroïdes, détection d'astéroïdes géocroiseurs.

– Enfin une distance précise des Nuages de Magellan (distance sur laquelle repose en grande partie l'échelle des distances dans l'Univers).

le paramètre γ de la relativité générale à 10^{-7} près (connu actuellement à 10^{-5} près).

Les autres catalogues astrométriques/photométriques/spectroscopiques

Au sol, les progrès ont également été très importants, avec l'arrivée de télescopes automatisés, l'utilisation de CCD très performants remplaçant les photomultiplicateurs et les plaques photographiques, et les performances accrues des ordinateurs. Les catalogues de positions et de mouvements propres actuels combinent des positions observées à l'époque actuelle avec les positions de nombreux catalogues plus anciens (y compris le Catalogue Astrographique dont les plaques ont été remesurées avec des machines automatisées). Par exemple l'UCAC3, attendu pour 2007, comprendra 60 millions d'étoiles avec une précision sur les mouvements propres de 1 à 7 mas/an^[97]. Autre exemple, l'USNO-B1, résultant de nouveaux scans des plaques de plusieurs surveys avec des télescopes de Schmidt, et qui donne positions, couleurs et mouvements propres pour plus d'un milliard d'objets jusqu'à la magnitude 21^[98]. Parallèlement, des observations systématiques de grandes zones du ciel sont réalisées dans d'autres longueurs d'onde : catalogues dans l'infrarouge proche (2MASS, 2 Micron All Sky Survey^[99], 471 millions d'étoiles et un million de galaxies, et DENIS, *DEep Near Infrared Southern Sky Survey*, 100 millions d'étoiles et 250 000 galaxies) ; catalogue avec photométrie et spectres à basse résolution (SDSS, *Sloan Digital Sky Survey*^[100], 215 millions d'objets), observations systématiques de vitesses radiales (RAVE, *the RAdial Velocity Experiment*^[101], un million d'étoiles de l'hémisphère Sud).

L'avenir de la Carte du Ciel

« Je ne crois absolument pas que nous puissions dire quel point intéressera les observateurs des siècles futurs »^[102].

Y aura-t-il une troisième vie pour la Carte du Ciel ? Rien n'est moins sûr. Par exemple, pour ce qui concerne les mouvements propres, le gain technologique est maintenant plus rapide que le gain (linéaire) sur la base de temps. La figure 8.6 illustre une comparaison au fil du temps entre la précision de mouvements propres qui utiliseraient l'Astrographic Catalogue (on suppose ~200 mas de précision sur les positions) et celle qui est obtenue avec d'autres Catalogues. Mais, certes, il ne s'agit là que des mouvements propres et on ne peut prédire les autres utilisations qui pourraient être faites du legs de la Carte du Ciel^[103].

En comparant les succès respectifs des deux projets, plusieurs faits peuvent être notés. D'abord, Hipparcos, plus pragmatique, n'a pas eu l'ambition de créer une grande œuvre pour les générations futures, mais de contribuer immédiatement à l'avancée des sciences, quitte à anticiper le relais en promouvant Gaia dès la fin de la mission. Ensuite, il est frappant de constater que, si l'organisation de la Carte du Ciel est quasiment « industrielle », tout comme celle de l'ESA et du CNES, il semble manquer en amont la réelle préparation qu'on attendrait maintenant de tout projet scientifique : 1) la prospective scientifique n'est formulée que qualitativement, et avec peu de mise en relation avec des performances techniques^[104] ; 2) faute d'analyse quantitative de ce qu'on espère obtenir, le projet peut être poursuivi indéfiniment ; 3) les coûts et les délais sont loin d'être maîtrisés. Mais on se trouve enfermé ici dans un système où d'une part, l'importance de l'œuvre déjà entreprise sert de justification à sa continuation ; d'autre part l'évolution des performances techniques ou la possibilité d'obtenir des mouvements propres peut même servir de prétexte à recommencer le travail^[105]. Certes, il y a également eu des pressions sur le projet Hipparcos pour améliorer tel ou tel point, c'est-à-dire en retarder sa publication, mais, fort heureusement, la présence de bout en bout d'un responsable de projet et d'une équipe scientifique responsables a permis de tenir les délais et les coûts.

Sur ces aspects performances scientifiques/coûts qui sont maintenant omniprésents, les opinions sur le projet Carte du Ciel sont souvent tranchées. Virginia Trimble indique « *qu'avec le recul, on peut s'estimer heureux qu'aucun observatoire américain n'y ait été impliqué* », « *la Carte du Ciel étant une cible*

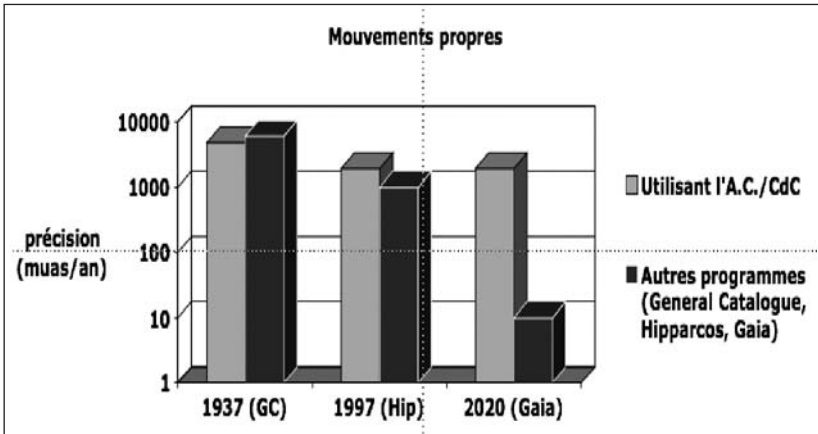


Figure 8.6. Comparaison entre les précisions sur les mouvements propres qui seraient obtenus en utilisant la Carte du Ciel (un gain linéaire avec le temps) et ceux acquis par les programmes plus récents ou futurs (un gain quasiment exponentiel).

dans laquelle on jeta non seulement de l'argent mais également le temps irremplaçable de talentueux scientifiques »^[106]. Mais, du même côté de l'Atlantique, on trouve aussi un hommage appuyé de la part des auteurs de l'AC 2000 à toutes celles et tous ceux qui ont contribué à la Carte du Ciel^[107] : « *Finalement, une profonde reconnaissance est due aux centaines d'hommes et de femmes, dont la majorité a disparu depuis longtemps, qui ont exposé et mesuré les 22 660 plaques de l'Astrophographic Catalogue* ». Il est vrai qu'il est difficile de ne pas s'émouvoir de l'énergie, du dévouement et du soin évident apporté au travail, y compris la documentation ; et que l'on réalise ce que représentent la mesure (de l'ordre du micron), la saisie manuscrite, l'impression, la saisie informatique, manuelles et parfois dupliquées, des 8 633 975 mesures de positions et magnitude.

Enfin, à côté des résultats scientifiques, certes limités compte tenu des investissements financiers et humains, mais néanmoins présents, la Carte du Ciel a à son actif un bilan qualitatif bien plus positif. D'abord elle a promu et « essuyé les plâtres » de l'astrophotographie, mais surtout elle a représenté un des premiers exemples de consortium scientifique international, anticipé l'organisation de l'astronomie en Union Astronomique Internationale (UAI), marqué de son empreinte la communauté astronomique française, et probablement inspiré les projets astrométriques qui l'ont suivi.

Références

- [1] Le *Catalogue* Hipparcos a également eu sa *carte* associée, le « Millennium Star Atlas », une carte d'un million d'étoiles et de 10 000 objets non stellaires jusqu'à la onzième magnitude.
- [2] Dans ce qui suit, nous désignerons en général par « Carte du Ciel » le projet dans son ensemble, sans distinguer la « Carte photographique du ciel » du « Catalogue photographique du ciel », habituellement dénommé « Astrographic Catalogue ». Tandis que la première, plus profonde que la magnitude 14, ne fut qu'à moitié réalisée, c'est essentiellement ce dernier, complet jusqu'à la magnitude 11, qui fut publié et utilisé.
- [3] « *The determination of the extragalactic distance scale, like so many problems that occupy astronomer's attention, is essentially an impossible task. The methods, the data, and the understanding are all too fragmentary at this time to allow a reliable result to be obtained. It would probably be a wise thing to stop trying for the time being and to concentrate on better establishing such things as the distance scale in our Galaxy...* » P.W. Hodge, *The extragalactic distance scale, Annual review of astronomy and astrophysics*, vol. 19, 1981, p. 357.
- [4] 7,5 % d'erreur, à comparer aux 102 % d'erreur sur Vega pour Struve, et 35 % pour Henderson pour α Cen, H. A. McAlister, *Revealing the Other Two Dimensions of Velocity Space*.
- [5] *How Far the Stars*, réunion de la Northern California Historical Astronomy Luncheon and Discussion Association, 6 octobre 2001, http://www.nchalada.org/archive/NCHALADA_LVIII.html
- [6] *Ibidem*.
- [7] C. Flammarion, *Les étoiles et les curiosités du ciel*, supplément à l'Astronomie Populaire, 1882.
- [8] Rapport de la Commission 23, Assemblée générale de l'UAI tenue à Stockholm en 1938, *Transactions of the International Astronomical Union*, vol. VI, 1939, (ed.) J. H. Oort, Cambridge University Press, p. 177. Nous remercions Jean Guibert pour la communication des références bibliographiques concernant l'U. A. I.
- [9] Pour un aperçu et un historique plus détaillés des différents types de binaires, voir par exemple les liens indiqués à l'URL http://www.whip.obspm.fr/~arenou/Wiki/Double_visuelle.html
- [10] À propos de v_1 et v_2 Sagittarii : « *Quæ in oculo est nebulosa et bina* » cf. C. H. F Peters, E. B. Knobel, *Ptolemy's catalogue of stars, a revision of the Almagest*, The Carnegie Institution of Washington, 1915, p. 40, traduction de grec en latin du Trapezuntius Almagest 1528.

- [11] Le premier (60 couples), compilé par Christian Mayer en 1777, est publié par Johann Bode, « Verzeichniss aller bisher entdeckten Doppeltsterne », *Berliner Astronomisches Jahrbuch für 1784, 1781*, p. 183.
- [12] J. Michell, « An Inquiry into the Probable Parallax, and Magnitude of the Fixed Stars, from the Quantity of Light Which They Afford us, and the Particular Circumstances of Their Situation », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 57, 1767, p. 246.
- [13] En suivant la suggestion de Galilée (*Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde*, troisième Journée, 1632). Si un couple est optique et si toutes les étoiles sont semblables au Soleil, la plus brillante l'est parce qu'elle est plus proche, et l'on peut tenter de mettre en évidence son mouvement par rapport à la plus faible (plus lointaine, donc avec un effet parallactique moindre).
- [14] W. Herschel, « Account of the Changes That Have Happened, during the Last Twenty-Five Years, in the Relative Situation of Double-Stars ; With an Investigation of the Cause to Which They Are Owing », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 93, 1803, p. 339. Une fois obtenues les mesures de position, la détermination des paramètres orbitaux n'était pas si évidente. Pour cela, il faudra attendre les calculs du jeune polytechnicien français Félix Savary en 1827, à la requête d'Arago.
- [15] F. W. Bessel, « On the Variations of the Proper Motions of Procyon and Sirius », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 6, 1844, p. 136. Il s'agissait des premières naines blanches (indirectement) détectées, le compagnon de Sirius fut aperçu pour la première fois en 1862 et celui de Procyon en 1896.
- [16] G. Bond, « Photographical Experiments on the Positions of Stars », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 17, 1857, p. 230.
- [17] W. Doberck, « Binary stars », *The Observatory*, vol. 2, 1878, p. 169.
- [18] H. C. Vogel ne découvre qu'Algol est une binaire spectroscopique à l'Observatoire de Potsdam qu'en novembre 1889 (au même moment où Pickering/Miss Maury font de même avec Mizar à Harvard).
- [19] Par exemple en utilisant une relation masse-luminosité à partir du type spectral de l'étoile.
- [20] La relation entre le demi-grand axe a , la période de l'orbite P et la masse des deux compagnons est $a^{[3]}/P^{[2]} = M_1 + M_2$, en unités usuelles (respectivement unités astronomiques, années, masse solaire).
- [21] Ainsi que les dénomma Maedler dans *Der Fixsternhimmel*, Leipzig, 1858. Elles sont mieux connues sous le nom de « parallaxes dynamiques » depuis Russell, Adams, et Joy, « A Comparison of Spectroscopic and Dynamical Parallaxes », *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 35, 206, 1923, p. 189 solaire) et parfois dénommées également *parallaxes orbitales*.

- [22] F. G. W. Struve, « De Parallaxi Stellarum Fixarum », *Stellarum duplicium et multiplicium Mensuræ Micrometricæ per magnum Fraunhoferi*, 1837.
- [23] Car, bien sûr, la méthode ci-dessus joue dans les deux sens : il y a besoin de connaître la parallaxe pour déterminer la masse d'une binaire visuelle (sauf si elle est également binaire spectroscopique). La masse du système Alpha du Centaure ne put être estimée qu'une fois sa parallaxe obtenue par Henderson (T. Henderson, « On the parallax of *alpha Centauri* », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 4, 1839, p. 168) en 1839. Une manière de connaître cette parallaxe est de disposer de la vitesse radiale relative des composantes, ainsi que le calcula C. Niven dès 1874 : « On a method of finding the parallax of double stars and on the displacement of the lines in the spectrum of a planet », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 34, pp. 339-347 sur une idée de Talbot.
- [24] C. Flammarion, 1882, *Les étoiles et les curiosités du ciel*, chap. XIV, p. 390.
- [25] I. Chinnici, *La Carte du Ciel, correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Paris, Observatoire de Paris, Palerme, Osservatorio Astronomico di Palermo G. S. Vaiana, 1999, p. 5.
- [26] J. Baillaud, I^{re} partie, III. Dispositions à prendre pour continuer l'œuvre du Comité permanent, Rapport de la commission 23, *Transactions of the International Astronomical Union*, Vol VI, Sixth general assembly held at Stockholm Aug. 3 to Aug. 10, 1938, Cambridge Univ. press, 1939, p. 181.
- [27] E. Mouchez, « Photographies astronomiques de MM. Paul Henry et Proper Henry, présentées par M. Mouchez », *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 18 janvier 1886, T. 102, p. 148.
- [28] *Congrès astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la carte du ciel*, Paris, Institut de France, séance de l'Académie du 16 avril 1887.
- [29] « *il se produira bien quelque regret,... mais ils s'évanouiront bien vite devant l'éclatante lumière du succès, tout comme ont disparu il y a un demi-siècle nos antiques diligences devant le triomphe de la locomotive* », Mouchez, Discours d'introduction, *ibidem*.
- [30] C. Pritchard, « Note on the application of photography to the determination of stellar parallax », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 47, 1887, pp. 87-89.
- [31] D'après Eichhorn, *Astronomy of star positions*, 1974, sect. 5.5.1, Frederic Ungar Publishing, p. 279.
- [32] *Ibidem*.
- [33] Cf. par exemple H. H. Turner, « Note on the number of the faint stars with large proper motions », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 69, 1908, p. 57.
- [34] À titre d'exemple, H. Groot, Some statistical results from counts of double stars in the Greenwich Astrographic Catalogue, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 88, 1927, p. 51.

- [35] C. E. Worley, « Double Stars in the Astrographic Catalogue », in S. Debarbat (ed.), *Mapping the Sky: Past Heritage and Future Directions*, IAU Symp. 133, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988, p. 491.
- [36] J. Baillaud, « II^e partie, Travaux exécutés dans les Observatoires », *ibidem*, p. 195.
- [37] La première utilisation semble apparaître dans E. Hertzsprung, « Über die raumliche Verteilung der Sterne », *Astronomische Nachrichten*, vol. 185, 1910, p. 89.
- [38] P. Bacchus, P. Lacroute, « Prospects of Space Astrometry », in Gliese, Murray, Tucker (eds.), *New Problems in Astrometry*, IAU Symp. 61, Dordrecht, Reidel Publishing Company, 1974, p. 277, P. Lacroute, Space Astrometry Projects, in Nguyen & Battrick (eds.), *Space Astrometry*, ESRO SP-108, Neuilly, ESRO, 1975, p. 5, P. Bacchus, « Space Astrometry Project – Optical Concept », *ibidem*, p. 31.
- [39] J.-C. Husson, « Faisabilité d'un Satellite Astrométrique – Résultat d'une étude CNES », *ibidem*, p. 43.
- [40] E. Høg, « A new start for Astrometry », in C. Barbieri, P. L. Bernacca (eds.), *European Satellite Astrometry*, Padoue, Italie, Université de Padoue, 1979, p. 7.
- [41] W. Gliese, « Trigonometric Parallaxes – Basic data for Various Problems », in Nguyen, Battrick (eds.), *Space Astrometry*, ESRO SP-108, Neuilly, ESRO, 1975, p. 109.
- [42] C. Turon, « Some Astrophysical Consequences of an improvement in Parallaxes », *ibidem*, p. 115.
- [43] J. Kovalevsky, « Contributions possibles de l'astrométrie spatiale à la définition d'un système de référence absolu », *ibidem*, p. 67, H. G. Walter, « Extension of a stellar reference system by means of spacecraft-observed faint stars », *ibidem*, p. 73.
- [44] C. Meyer et M. Fröeschlé, « Conséquences de l'amélioration des catalogues sur l'étude du système Terre-Lune », *ibidem*, p. 95.
- [45] W. Gliese, « Trigonometric Parallaxes – Basic data for Various Problems », *ibidem*, p. 109, C. Turon, « Some Astrophysical Consequences of an improvement in Parallaxes », *ibidem*, p. 115.
- [46] C. Barbieri, P. L. Bernacca (eds.), *European Satellite Astrometry*, Padoue, Italie, Université de Padoue, 1979, F. V. Prochazka, R. H. Tucker (eds.), *Modern astrometry*, IAU Colloquium 48, Vienne, Autriche, University Observatory, 1979, J. Kovalevsky, « Global astrometry by space techniques », *Symposium on Star Catalogues, Positional Astronomy and Celestial Mechanics, Celestial Mechanics*, vol. 22, 1980, p. 153.
- [47] C. Turon, « Hipparcos and the Space Telescope : Astrophysical implications of two complementary astrometric projects », in F. Macchetto, F. Pacini, M. Tarenghi (eds.), *ESA/ESO Workshop on Astronomical Uses of the Space Telescope*, 1980, p. 403.
- [48] J. Kovalevsky, « Prospects for space stellar astrometry », *Space Science Reviews*, vol. 39, 1984, p. 1.

- [49] « A prominent astrophysicist spoke for many of his colleagues when he said : « Stop astrometry for one hundred years and let astrometrists die out. Then people with fresh mind could start a new shop », E. Høg, « A new start for Astrometry », in C. Barbieri, P.L. Bernacca (Eds), *European Satellite Astrometry*, Padoue, Italie, Université de Padoue, 1979, p. 7.
- [50] Satellite Prime Contractor and Payload Development.
- [51] Co-Prime Contractor : Spacecraft Procurement and Satellite Assembly, Integration & Test.
- [52] L'expérience Tycho a été proposée par E. Høg *et al.* après l'acceptation d'Hipparcos par l'ESA. Voir E. Høg, C. Jaschek, L. Lindegren, Tycho « A planned astrometric and photometric survey from space », in Perryman et Guyenne (Eds), *The Scientific Aspects of the Hipparcos Space Astrometry Mission*, ESA SP-177, Paris, ESA, 1982, p. 21.
- [53] Voir plus loin, dans le paragraphe sur la deuxième vie de la Carte du Ciel.
- [54] M. A. C. Perryman *et al.*, The HIPPARCOS Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 323, 1997, L49, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, Paris, ESA, 1997.
- [55] E. Høg *et al.*, The TYCHO Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 323, 1997, L57, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, Paris, ESA, 1997.
- [56] E. Høg *et al.*, The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 355, 2000, L27.
- [57] Cf. par exemple L. Lindegren, « The Astrometric Instrument of Gaia : Principles », in Turon, O'Flaherty, Perryman (Eds), in *The Three-Dimensional Universe with Gaia*, ESA SP-576, Paris, ESA, 2005, p. 29.
- [58] <http://history.nasa.gov/SP-436/ch2.htm>
- [59] F. Mignard, « Considerations about the astrometric accuracy of GAIA », in Munari (ed.), *GAIA Spectroscopy : Science and Technology*, ASP Conference Proceedings, vol. 298, 2003, p. 25.
- [60] C. Turon *et al.*, Properties of the HIPPARCOS Input Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 304, 1995, p. 82.
- [61] M. A. C. Perryman, L. Lindegren, J. Kovalevsky *et al.*, The HIPPARCOS Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 323, 1997, p. 49.
- [62] D. Egret *et al.*, The TYCHO Input Catalogue – Cross-matching the Guide Star Catalog with the HIPPARCOS INCA Data Base, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 258, 1992, p. 217.
- [63] C. Turon *et al.*, The HIPPARCOS Input Catalogue. I – Star selection, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 258, 1992, p. 74.
- [64] C. Turon, Y. Réquière, « Preparation of the HIPPARCOS Input Catalogue – Astrometric Programs for HIPPARCOS – Preliminary Astrometric Observations », in

- H. K. Eichhorn & R.J. Leacock (eds.), *Astrometric Techniques*, IAU Symp.109, Dordrecht, Reidel Publishing Company, 1986, p. 605.
- [65] H. Jahreiss, Y. Réquière, A. N. Argue *et al.*, The HIPPARCOS Input Catalogue. II – Astrometric data, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 258, 1992, p. 82.
- [66] L'abréviation C. D. S. a d'abord signifié *Centre de Données Stellaires*. Lorsque des données non stellaires ont également été collectées par le Centre, celui-ci est devenu le Centre de Données de Strasbourg.
- [67] A. Heck, *The Multinational History of Strasbourg Astronomical Observatory*, Springer, Dordrecht, 2005.
- [68] Un lourd travail de saisie sur cartes perforées, essentiellement sur crédits CNRS, cf. P. Lacroute, « Réduction des Catalogues Photographiques – Zones +31° à -2° (RCP 164) », *Bulletin d'Information du Centre de Données stellaires*, vol. 21, 1981, p. 2.
- [69] W. Gliese, H. Jahreiß, « Catalogue of Nearby Stars, version 3 », in L. E. Brotzmann, S. E. Gesser (eds.), *The Astronomical Data Center CD-ROM : Selected Astronomical Catalogs*, vol. 1, 1991.
- [70] Réunissant (du plus proche au plus lointain) des spécialistes de la rotation terrestre, des petites planètes, de la physique stellaire, galactique, extragalactique (quasars), et de la physique fondamentale (relativité).
- [71] Via la réalisation du « Catalogue d'Entrée », la liste des cibles à observer par le satellite, ainsi que pour la préparation au traitement des données (pour produire le Catalogue « de Sortie »).
- [72] On peut féliciter l'Agence Spatiale Européenne pour avoir nommé M.A.C. Perryman à ce poste.
- [73] 580 MAU en 1995, cf. ESA, 1997, *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, ESA SP-1200, vol. 3, Appendix E, p. 379 converti en francs par le facteur 6,545 puis en € (2006) via <http://www.insee.fr/fr/indicateur/achatfranc.htm>
- [74] C. Turon, The Input Catalogue Consortium, *Proceedings of the ESA Symposium 'Hipparcos – Venice '97'*, 13-16 May, ESA SP-402, 1997, p. xxxviii.
- [75] 80 MAU (1990), facteur AU/F = 6,926, donc l'AU est très proche de l'euro ; ESA, *ibidem*.
- [76] Théo Weimer, *Brève histoire de la Carte du Ciel en France*, Observatoire de Paris, 1987, p. 19.
- [77] V. Nesterov *et al.*, « Completion of the Sternberg Astronomical Institute Astrographic Catalogue Project », in B. J. McLean *et al.* (eds.), *New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys*, IAU Symp. 179, Kluwer Academic Publishers, 1998, p. 409.
- [78] Cf. S. E. Urban, http://www.to.astro.it/astrometry/AC_CdC/reports/ac_cdc_wg.ppt, rapport du Groupe de Travail Carte du Ciel à l'Assemblée Générale de l'UAI, Sydney, 2003.
- [79] *Ibidem*.

- [80] « *Did you consider the underdeveloped nations ? I mean this very seriously. This is nothing but a key punching job* », Herget pendant la discussion suivant l'intervention de H. Wood, in Luyten (ed.), *Proper Motions*, IAU Colloquium n° 7, 1970, p. 72.
- [81] V. Nesterov *et al.*, Completion of the Sternberg Astronomical Institute Astrographic Catalogue Project, in McLean *et al.* (eds.), *New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys*, IAU Symp. 179, Kluwer Academic Publishers, 1998, p. 409.
- [82] S. E. Urban *et al.*, « The AC 2000: The Astrographic Catalogue on the System Defined by the HIPPARCOS Catalogue », *The Astronomical Journal*, vol. 115, Issue 3, 1998, pp. 1212-1223.
- [83] S. E. Urban, T. E. Corbin, G. L. Wycoff, « The ACT Reference Catalog », *The Astronomical Journal*, 1998, vol. 115, p. 2161.
- [84] A. Kuzmin *et al.*, Construction of the Tycho Reference Catalogue, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, vol. 136, 1999, pp. 491-508.
- [85] E. Høg *et al.*, The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 355, 2000, pp. L27-L30.
- [86] F. Arenou, « Hipparcos et les binaires serrées », in D. Egret *et al.* (ed.), *École de Goutelas #23*, CNRS, 22-26 May 2000, SF2A, 2001, p. 127, A. Frankowski *et al.*, Proper-motion binaries in the Hipparcos catalogue. Comparison with radial velocity data *Astronomy and Astrophysics*, vol. 464, 2007, pp. 377-392.
- [87] F. Arenou et J. Palasi, « Planetary mass limits using Hipparcos astrometry », in A. Penny (ed.), *Planetary Systems in the Universe : Observation, Formation and Evolution*, Proceedings of IAU Symposium #202, 2004, p. 60.
- [88] I. Ribas *et al.*, « Astrometric and Light-Travel Time Orbits to Detect Low-Mass Companions : A Case Study of the Eclipsing System R Canis Majoris », *The Astronomical Journal*, vol. 123, 2002, p. 2033-2041.
- [89] 2,6 millions d'étoiles dans la zone de Bordeaux, cf. C. Ducourant *et al.*, The PM2000 Bordeaux proper motion catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 448, 2006, pp. 1235-1245.
- [90] B. Vicente, C. Abad, « Carte du Ciel plates, San Fernando Zone, using a flatbed scanner », in R. Teixeira *et al.* (eds.), *Astronomy in Latin America*, ADeLA Publications Series, vol. 1, 2003, pp. 31-34.
- [91] <http://astro.u-strasbg.fr/~fresneau/workgroup.html>
- [92] Cet article a fait un très large usage de l'*Astrophysics Data System* de la NASA, <http://cdsads.u-strasbg.fr>, qui est ici remercié.
- [93] J. Kovalevsky, C. Turon, « Scientific requirements for very accurate astrometry », *Advances in Space Research*, vol. 11, 1991, p. 5.
- [94] E. Høg, L. Lindegren, « A CCD Modulation Detector for a Second HIPPARCOS Mission », in I. I. Mueller, B. Kolaczek (eds.), *Developments in astrometry and their impact*

- on astrophysics and geodynamics*, IAU Symp. 156, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993, p. 31.
- [95] L. Lindegren, M.A.C. Perryman, « GAIA : Global astrometric interferometer for astrophysics », *Astronomy and Astrophysics Supplement*, vol. 116, 1996, p. 579.
- [96] M.A.C. Perryman *et al.*, « GAIA : Composition, formation and evolution of the Galaxy », *Astronomy and Astrophysics*, vol. 369, 2001, p. 339.
- [97] N. Zacharias, « Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale », *Joint Discussion* n° 16, 2006.
- [98] D. G. Monet *et al.*, « The USNO-B Catalog », *The Astronomical Journal*, vol. 125, 2003, p. 984.
- [99] M. F. Skrutskie *et al.*, « The Two Micron All Sky Survey (2MASS) », *The Astronomical Journal*, vol. 131, 2006, pp. 1163-1183.
- [100] Z. Ivezic, Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, *Joint Discussion* n° 13, 2006.
- [101] <http://www.rave-survey.aip.de/rave>
- [102] R. A. Sampson (50 ans après le lancement de la Carte) en réponse à : « *Les progrès de la science maintiennent-ils l'intérêt de laisser aux astronomes des siècles à venir une image fidèle du ciel, englobant des astres plus faibles que ceux dont les positions et les grandeurs sont relevées dans le Catalogue Photographique* », J. Baillaud, « III Dispositions à prendre pour continuer l'œuvre du comité permanent », *ibidem*, p. 181.
- [103] Après tout, c'est en regardant l'archive Hipparcos *a posteriori* que l'on a constaté qu'elle avait été la première à observer le transit d'une planète extrasolaire, cf. N. Robichon, F. Arenou, « Planetary transits from Hipparcos photometry », *Astronomy and Astrophysics*, vol. 355, 2000, pp. 295-298.
- [104] Ce n'est par exemple que lors de sa réunion de mai 1896 que les résolutions du Comité décident de l'erreur maximale que doivent avoir les mesures des coordonnées rectilignes du Catalogue.
- [105] J. Baillaud, « III Dispositions à prendre pour continuer l'œuvre du comité permanent », *ibidem*, p. 181.
- [106] Avec la note de bas de page : « *I think this was originally a description of a golf course : 18 small holes down which you throw money* », V. Trimble, What, and Why, is the International Astronomical Union ?, *The Universe at Large*, SLAC Beam Line, vol. 27, N4, 1997, p. 43.
- [107] « *Finally, a special gratitude is extended to the hundreds of men and women, most of whom have long since passed away, who exposed and measured the 22,660 AC plates.* », S.E. Urban *et al.*, « The AC 2000: The Astrographic Catalogue on the System Defined by the HIPPARCOS Catalogue », *The Astronomical Journal*, vol. 115, Issue 3, 1998, pp. 1212-1223.

LES TRACES MATÉRIELLES DE LA CARTE DU CIEL : LE CAS DES OBSERVATOIRES D'ALGER ET DE BORDEAUX

Françoise LE GUET TULLY

(Université Nice-Sophia-Antipolis, Observatoire de la Côte-d'Azur, Nice)

Jean DAVOIGNEAU

*(Direction de l'architecture et du patrimoine,
ministère de la Culture et de la Communication, Paris)*

Jérôme LAMY

(LISST – UMR CNRS 5193 – Université Toulouse II)

Jérôme DE LA NOË

(Université Bordeaux 1-CNRS, OASU/LAB, Floirac)

Jean-Michel ROUSSEAU

(Université Bordeaux 1-CNRS, OASU/LAB, Floirac)

Hamid SADSAOUD

(Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, Alger)

L'exécution de la Carte du Ciel, programmée en 1887 et commencée officiellement en 1892, a nécessité la mise au point d'une instrumentation particulière à la fois dans le domaine de la photographie astronomique – lunettes photographiques équipées de « pointeurs » pour le suivi, obturateurs, châssis, plaques sensibles grand format – et pour la mesure précise des positions des astres sur les clichés – réseaux, machines à mesurer^[1]. Elle a également produit une quantité

importante de plaques photographiques et de feuilles de calculs. Elle a aussi abouti à la publication de catalogues dans vingt observatoires^[2] et à la reproduction de cartes dans dix^[3]. Après l'interruption officielle des travaux lors de l'Assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale de 1970, chacun des observatoires impliqués dans le projet est resté dépositaire de milliers de plaques sur verre 16 × 16 cm et d'une instrumentation devenue en partie obsolète pour la pratique scientifique. L'arrêt de la fabrication des plaques par Kodak en 1996 a par ailleurs condamné définitivement ces lunettes photographiques à l'inaction.

Dans ce chapitre, nous évoquons tout d'abord l'opération d'inventaire du patrimoine astronomique français entreprise au milieu des années 1990 à la suite d'une prise de conscience de l'intérêt des instruments devenus obsolètes pour la mémoire de la science, puis nous examinons le matériel provenant de l'opération de la Carte du Ciel étudié à l'occasion de cet inventaire dans les observatoires d'Alger^[4] et de Bordeaux^[5].

L'inventaire du patrimoine astronomique en France

Carlos Jaschek (1926-1999), astronome à l'observatoire de Strasbourg, souleva au début des années 1990 au sein de la communauté astronomique internationale la question de l'archivage des observations astronomiques accumulées depuis l'invention de la photographie. Alors que par ailleurs il animait à Strasbourg un groupe pluridisciplinaire de chercheurs qui s'intéressait depuis plusieurs années à des thématiques relatives à l'ethno- et à l'archéo-astronomie, Jaschek commença à organiser à Paris des rencontres informelles avec des astronomes d'autres établissements français afin de discuter non seulement de l'archivage des observations mais aussi de l'histoire et de la sociologie de l'astronomie et de l'ethno-astronomie. L'une d'entre nous^[6] souleva lors de ces réunions la question de la méconnaissance des astronomes à l'égard du patrimoine de leurs observatoires, patrimoine dont les contours et la richesse semblaient communs à nombre d'établissements astronomiques^[7]. C'est ainsi que, dans le sillage des questionnements sur les liens entre sciences et société qui nourrissent les travaux des historiens et des sociologues des sciences, émergea une réflexion approfondie autour du patrimoine matériel de l'astronomie – instruments, bâtiments et autres objets techniques témoins de la pratique astronomique^[8].

Le constat – établi lors de ces réunions informelles – d'une grande méconnaissance à l'égard du patrimoine astronomique français sensibilisa les instances de

tutelle des observatoires : la Mission Musées du ministère chargé de la Recherche et l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU). Ce dernier commanda, en 1992, une enquête sur le patrimoine astronomique de treize laboratoires. Les conclusions de cette investigation exploratoire menée par Carlos Jaschek et Françoise Le Guet Tully mirent en évidence à la fois la richesse et la variété du patrimoine astronomique des observatoires et les menaces qui pesaient sur lui^[9]. La Mission Musées mit alors en place en 1993 un groupe de réflexion sur le patrimoine astronomique dont la mission était notamment d'« *étudier la possibilité d'inventorier le patrimoine des observatoires en vue à la fois de l'identifier afin de mieux le sauvegarder, et de le documenter pour en permettre l'étude – fondement indispensable à toute mise en valeur de qualité* »^[10]. Réunissant historiens, archivistes, spécialistes de la conservation du patrimoine et astronomes sensibles au devenir des arsenaux techniques anciens de leurs observatoires, le groupe explora les méthodologies d'inventaire existantes et, grâce à Bruno Jacomy, alors directeur-adjoint du musée du CNAM, contact fut pris au ministère de la Culture avec la sous-direction chargée de l'Inventaire général. Une collaboration fructueuse s'ensuivit qui aboutit en avril 1995 à la signature d'un protocole entre la Direction de l'Information Scientifique et Technique et des Bibliothèques (ministère chargé de la Recherche) et la Direction du Patrimoine^[11] (ministère chargé de la Culture), protocole ayant pour objet la réalisation d'un inventaire documenté et illustré du patrimoine astronomique.

Créé par André Malraux en 1964, l'Inventaire général a pour but de « *recenser, étudier et faire connaître toute œuvre qui, du fait de son caractère artistique, historique ou archéologique, constitue un élément du patrimoine national* ». Les chercheurs qui en furent chargés le dotèrent rapidement de principes d'analyse scientifique et mirent au point un vocabulaire descriptif normé afin d'en assurer la cohérence. Préalablement au lancement de l'inventaire du patrimoine astronomique, ce vocabulaire fut adapté au cas des instruments astronomiques^[12]. La possibilité offerte par l'Inventaire général de mener « *une étude conjointe des patrimoines mobilier et immobilier* »^[13] permit en outre, dans le cas des observatoires, d'associer étroitement l'abri à son instrument et de mettre ainsi en évidence les rapports entre instrument et architecture. Ainsi l'outil technique et sa coupole, liés dans leurs formes et leurs usages dès leur conception, ne sont disjoints ni lors de leur étude, ni le cas échéant dans leur protection au titre des Monuments historiques.

La mise au point d'une terminologie normée dans le cadre de l'Inventaire général suppose une réflexion approfondie autour du vocabulaire descriptif et

des modes de désignation. Les instruments scientifiques constituent l'une des dix-neuf parties du *Thesaurus des objets mobiliers*^[14], ouvrage qui expose l'ensemble des travaux terminologiques permettant de décrire « *les œuvres mobilières, au sens large* »^[15]. Ce thesaurus se caractérise notamment par le fait que son principe d'organisation de la dénomination repose sur la **fonction** de l'objet étudié et qu'une distinction est établie « *à l'intérieur des catégories de la désignation, entre [les termes] qui relèvent de la dénomination, au sens fort du terme, et les simples précisions, variantes typologiques, formes anciennes et appellations* »^[16]. Le système descriptif retenu comprend ainsi « *huit génériques ou descripteurs de premier niveau : instrument d'application et d'illustration, instrument de calcul, instrument de démonstration de phénomènes physiques, instrument de dessin, instrument à enregistrer ou restituer, instrument de mesure, instrument d'observation et instrument de préparation* »^[17].

Les critères de sélection des objets dans les inventaires d'instruments scientifiques constituèrent parfois un obstacle à la compréhension de la science dont ils illustrent la mémoire^[18]. Le plus souvent en effet les instruments avaient été sélectionnés soit pour leurs qualités esthétiques, soit pour leur prestige. Dans notre cas, « *né d'une nécessité de terrain – tenter d'enrayer la disparition d'objets témoignant de l'histoire de l'Astronomie* », l'inventaire des instruments astronomiques inclut « *l'ensemble des instruments obsolètes présents dans les observatoires, des plus prestigieux aux plus modestes, quelle que soit la date à laquelle ils [ont] été construits* »^[19].

L'opération d'inventaire du patrimoine astronomique s'est déroulée dans le cadre de trois protocoles interministériels. Outre le premier, déjà évoqué et signé en 1995, un deuxième signé en 1999 et un troisième en 2003^[20] ont permis d'inventorier le patrimoine astronomique des observatoires de Besançon, Bordeaux, Hendaye, Lyon, Montpellier, Nice, Marseille, Meudon et Strasbourg. Des missions de collaboration avec le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG) d'Alger, organisées en 2001 et 2004, ont par ailleurs permis d'étudier le patrimoine de l'observatoire d'Alger.

Comme on l'a vu dans le chapitre 3, parmi la vingtaine d'observatoires des deux hémisphères qui participèrent de près ou de loin à l'opération de la Carte du Ciel, quatre relevaient de l'État français : Paris, Alger, Bordeaux et Toulouse. Comme dans deux d'entre eux – Bordeaux et Alger – l'opération nationale d'inventaire a permis de collecter données et illustrations patrimoniales,

nous sommes en mesure de décrire les traces matérielles issues de l'entreprise initiée par Ernest Mouchez et d'analyser leurs spécificités.

Le patrimoine de la Carte du Ciel : les exemples de Bordeaux et d'Alger

L'opération de la Carte du Ciel comportait deux parties bien distinctes : la prise des clichés destinés au Catalogue (poses courtes) et à la Carte proprement dite (poses longues)^[21], puis la mise en œuvre de leur utilisation par la communauté astronomique. Les traces matérielles de la première comprennent les lunettes (photographiques et pointeurs), les abris, les accessoires (oculaires, châssis, micromètres), les laboratoires photographiques, les réseaux gravés ainsi que les plaques de verre impressionnées et les registres d'observation. Les machines à mesurer les clichés, les cartes elles-mêmes et les meubles les abritant constituent l'essentiel des traces matérielles de la seconde.

Un patrimoine immobilier par destination

Tous les observatoires devant participer à l'opération de la Carte du Ciel furent équipés d'instruments aux caractéristiques identiques à celles de la lunette photographique double mise au point par les frères Henry avec la collaboration de Gautier en 1885 : 33 cm d'ouverture et 3,43 m de focale pour la lunette photographique, 24 cm d'ouverture et 3,60 m de focale pour la lunette-pointeur. Alors que dans les observatoires sous influence britannique ou allemande, la construction des instruments fut confiée respectivement à Grubb et à Repsold, en France (Alger, Bordeaux et Toulouse), en Espagne et en Amérique du Sud, les commandes furent passées à Gautier – assisté des frères Henry pour les optiques.

À l'instar du prototype de Paris, le tube des lunettes doubles d'Alger et de Bordeaux est de section rectangulaire (Fig. 9.1). Ce parallélépipède en tôle d'acier est porté par une monture équatoriale en berceau (monture à l'anglaise) permettant l'observation en continu d'est en ouest. L'axe de rotation est équipé d'un cercle d'entraînement gradué et denté et l'ensemble était mû par un mouvement d'horlogerie type Foucault à régulateur à ailettes^[22]. Financés par l'État, les instruments d'Alger et de Bordeaux furent livrés par Gautier en 1889.

La construction des abris restant en principe à la charge des établissements, le directeur de l'observatoire de Bordeaux, Georges Rayet, convainquit



Figure 9.1. Vue actuelle de l'équatorial photographique de l'observatoire de Bordeaux. On distingue au second plan l'escalier mobile qui permet à l'astronome d'effectuer réglages et observations.

rapidement la ville de construire un petit bâtiment isolé situé à une quarantaine de mètres du pavillon méridien. Bien qu'il ait dû « s'adresser, pour la coupole, à un constructeur différent de celui dont les avant-projets avaient d'abord été acceptés »^[23], Rayet fut en mesure de tester l'instrument en place dès 1889. De conception plus modeste que celle des deux autres équatoriaux – l'un de 38 cm situé à une centaine de mètres au sud-est du pavillon méridien, l'autre de 22 cm situé à une cinquantaine de mètres au nord-est – la tour-coupole de 6,50 m de diamètre de la lunette photographique a la particularité d'être de plain-pied et de disposer d'un petit laboratoire photographique attenant qui communique lui-même avec une salle de mesures (Fig. 9.2). Le laboratoire est conservé plus ou moins en l'état, sans doute parce qu'après son abandon pour la photographie, nul usage alternatif n'a été fait de cet espace exigu.

À Alger, Charles Trépied proposa d'installer l'équatorial photographique dans une coupole alors en cours de construction. Celle-ci avait été programmée



Figure 9.2. Vue actuelle du bâtiment de l'équatorial photographique de l'observatoire de Bordeaux : coupole avec son entrée à gauche, au centre le laboratoire photographique et à droite la salle destinées aux mesures des plaques.

au début des années 1880 dans le cadre de la réorganisation générale de l'observatoire d'Alger par l'État et de l'implantation à la Bouzaréah, son site actuel, de toutes les activités astronomiques et météorologiques^[24]. Le diamètre du bâtiment programmé étant un peu trop petit pour la monture à l'anglaise des équatoriaux photographiques des frères Henry, l'intérieur de la coupole paraît assez exigu (Fig. 9.3). Un laboratoire photographique était attenant à cet abri, mais ses équipements ont disparu. En effet, faute d'espace sur le plateau sommital, les nombreux instruments scientifiques de la Bouzaréah^[25] furent installés à proximité les uns des autres, de sorte que, au fur et à mesure de leur abandon pour les observations, ils furent transformés en bureaux ou en laboratoires (voir le plan Fig. 3.6).

Bien que l'astrographe de Bordeaux ne serve plus aux observations photographiques depuis une décennie et celui d'Alger depuis plusieurs décennies, les astrographes d'Alger et de Bordeaux ainsi que leurs accessoires sont dans l'ensemble bien conservés^[26]. Si les deux châssis porte-plaque, parties intégrantes des astrographes livrés par Gautier, sont identiques, certaines parties auxiliaires diffèrent. Ainsi en est-il des petits chercheurs auxiliaires, qui ne sont peut-être pas d'origine, et des micromètres de la « lunette pointeur », commandés à Gautier indépendamment par Trépied et Rayet.



Figure 9.3. L'équatorial photographique de l'Observatoire d'Alger.

Permettant de suivre l'étoile guide pendant la pose, ces micromètres furent l'objet de nombreuses discussions lors des réunions du Comité permanent et des séances des différents Congrès de la Carte du Ciel. Tant à Alger qu'à Bordeaux, il s'agit de micromètres de précision à grand champ devant permettre pour la prise des clichés du Catalogue de guider la pose en utilisant une étoile qui n'est pas située au centre du cliché. De forme rectangulaire, ils sont équipés de deux vis de précision assurant les déplacements selon l'une ou l'autre des coordonnées^[27]. Celui de Bordeaux possède en outre des règles graduées^[28].

Le parquet de la coupole de Bordeaux est, comme celui de Paris, équipé d'un rail circulaire destiné à la circulation d'une échelle mobile d'observation, échelle qui à ce jour a été conservée. Ce dispositif est absent à Alger, sans doute en raison de la trop petite dimension de la coupole. Par contre la salle de l'astrographe d'Alger possède un très beau parquet composé d'éléments dont l'assemblage forme un motif radial^[29]. Quant au « lit de cuir » destiné à l'observation à proximité du plan méridien, s'il a disparu à Alger, il est encore présent à Bordeaux.



Figure 9.4. Réseaux photographiques de la Carte du Ciel (Observatoire d'Alger).

Réseaux gravés, plaques et mobilier

Les réseaux gravés sur des plaques de verre argentées (glaces) carrées « impressionné[s] sur chaque plaque par de la lumière parallèle »^[30] constituent des traces matérielles particulièrement importantes de la partie proprement photographique de la Carte du Ciel. Leurs traits de 130 mm de long étaient espacés de 5 mm^[31] ce qui, compte tenu du rapport focale sur diamètre (F/D) des lunettes photographiques, faisait correspondre 1 mm sur le cliché à 1' d'arc en déclinaison^[32]. La finesse et la précision du tracé et de l'orientation des traits étant évidemment cruciales, les deux premiers réseaux, destinés à Paris et Alger, furent testés par les frères Henry et Trépied. Les trois astronomes arrivèrent en 1891 à la conclusion que les résultats de leurs tests « accus[ai]ent dans la construction des réseaux de M. Gautier une précision vraiment inespérée »^[33]. Comme la gravure des traits était fragile, les réseaux durent être protégés. Après divers essais, dont une protection par pellicule de verre, il fut décidé de recouvrir les réseaux d'un vernis à la fois résistant, non opaque et ne diminuant pas la netteté des traits.

Contrairement aux écrans métalliques prévus pour la photométrie des étoiles, dont l'usage fut vite abandonné, les réseaux (Fig. 9.4) constituèrent un chaînon essentiel de l'opération Carte du Ciel. Envisagés tout d'abord pour évaluer la distorsion des couches sensibles lors du développement des plaques

afin de pouvoir rapidement rejeter les « mauvaises » plaques, les réseaux furent régulièrement l'objet d'après discussion lors des Congrès. Il fut tout d'abord décidé de les utiliser pour mesurer avec précision les coordonnées des astres du Catalogue par rapport à l'intersection des lignes centrales, cette intersection devant, lors de la prise du cliché, être placée avec soin selon une déclinaison donnée (nombre entier pair ou impair) et une ascension droite connue. En 1890, dans une note sur les réseaux de repère publiée dans le *Bulletin*, Vogel (1841-1907), directeur de l'observatoire de Potsdam, revint sur cette procédure. Selon lui la plaque portant le réseau impressionné n'aurait qu'à être approximativement orientée en déclinaison et ascension droite lors de la pose, car l'obtention de l'orientation exacte des traits du réseau pourrait se faire au moment de la mesure des clichés à l'aide seulement de quelques étoiles repères. À cette occasion, Vogel suggéra aussi que « *l'ensemble des corrections de réfraction, de précession, etc.* » calculé « *pour un nombre de points relativement faible* » de la plaque permettrait « *par une interpolation très simple* » d'obtenir les réductions pour chacune des lignes du réseau^[34]. Dans les faits, le mode opératoire des mesures à faire avec le réseau se révéla extrêmement complexe et fut l'objet de nombreuses recherches complémentaires destinées à améliorer la qualité des positions données dans le Catalogue^[35].

En 1889, le comité permanent décida d'impressionner le même réseau également sur les clichés de la Carte. Il s'agissait alors non seulement d'obtenir un repère auxiliaire simple pour le « *contrôle et la réduction des clichés* », mais aussi « *au besoin, [de] déterminer la position d'une étoile au moyen des clichés de la Carte* », de faciliter « *les comparaisons que l'on pourrait avoir à faire entre deux clichés d'une même région de la Carte, pour la recherche d'une planète, par exemple* » ou encore de « *faire plus tard un Catalogue des étoiles de la Carte* »^[36]. Ces argumentaires, fruit d'une discussion serrée entre sept astronomes^[37], témoignent s'il était nécessaire à la fois de la richesse des échanges qui présidèrent à l'ensemble de l'opération et aux visions à long terme de ses promoteurs.

La zone explorée à Bordeaux correspondait aux déclinaisons comprises entre $+11^{\circ}$ et $+17^{\circ}$. Sont conservées à l'observatoire 1 415 plaques du Catalogue et 513 plaques de la Carte. Les premières, prises entre 1893 et 1938, comportent trois images alignées posées 1,5, 3 et 6 minutes, ce qui permit d'atteindre les étoiles jusqu'à la magnitude 13. Les plaques de la Carte, prises entre 1900 et 1937, comportent quant à elles trois images en triangle, posées chacune 20 minutes.

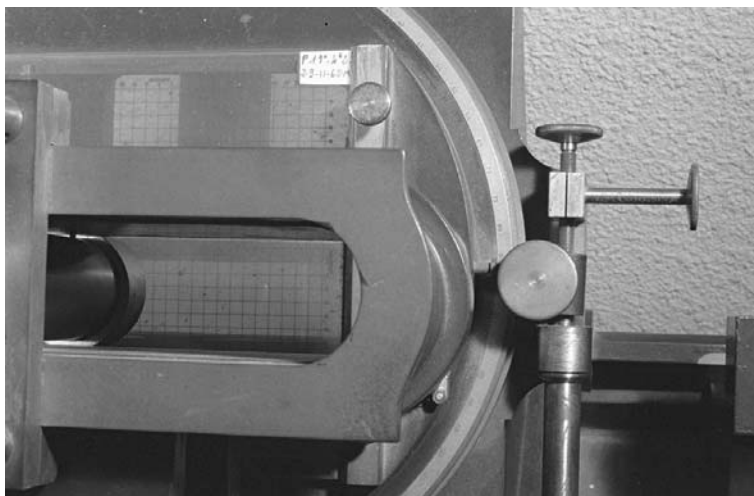


Figure 9.5. Détail d'une plaque mise en place sur la machine à mesurer de Gautier.

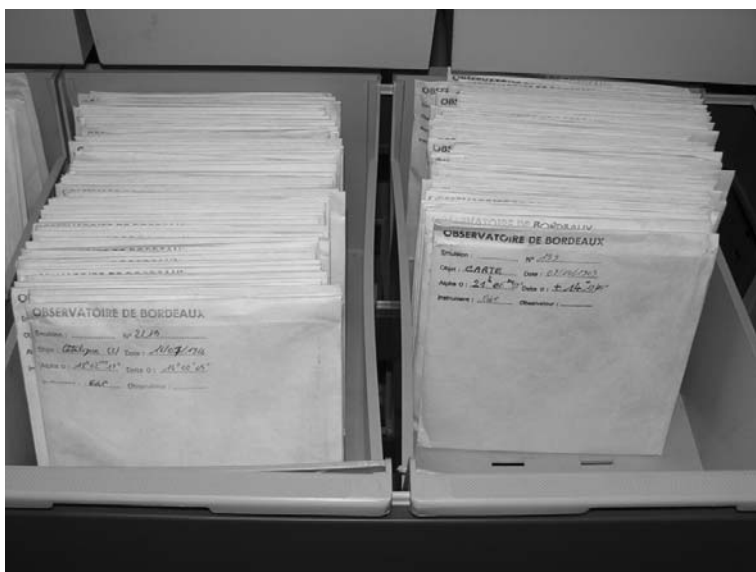


Figure 9.6. Vue partielle de l'un des tiroirs contenant la collection des clichés pris à l'équatorial photographique pour le Catalogue et la Carte du Ciel, dont l'ensemble constitue la « Clichothèque » de l'observatoire de Bordeaux.

Au total 2 397 clichés, pris entre le 21 novembre 1892 et le 27 juillet 1938, sont répertoriés dans le registre « Carte du Ciel et Catalogue » coté OBS9 dans les archives de l'observatoire (Fig. 9.5). Pour la zone d'Alger, comprise entre -2° et $+4^\circ$, environ 5 000 plaques auraient été prises et conservées.

Une fois impressionnées et développées, les plaques correspondant aux clichés de la Carte devaient être reproduites. Mais cette opération ne fut menée ni à Alger, ni à Bordeaux, aussi n'y a-t-on pas retrouvé les plaques de cuivre ayant servi à la reproduction des clichés par héliographie. Par contre, Rayet commanda deux armoires en pin massif à une porte qui se trouvent encore dans la bibliothèque de l'observatoire de Bordeaux. Chacune d'elle est équipée de 30 étagères formant tiroir dont la dimension correspond à celle des clichés agrandis deux fois accompagnés de leur légende, la capacité de chaque armoire étant d'environ 1 200 feuilles. Or, à raison de 2° de côté pour chaque cliché et de 180 clichés pour chaque déclinaison, ce sont 16 200 feuilles qui auraient dû être publiées uniquement pour les déclinaisons impaires^[38]. En commandant ces armoires, Rayet avait-il l'intention de ne conserver pour la consultation qu'une partie des cartes de l'hémisphère Nord ? Ou bien avait-il en vue les « 1 800 à 2 000 feuilles nécessaires pour représenter à une échelle suffisamment grande les 42 000 degrés carrés que comprend la surface de la sphère »^[39] que mentionna imprudemment un article paru dans *La Nature* au moment du Congrès de 1887 ? Quoi qu'il en soit, la présence à Bordeaux de ces armoires construites sur mesure pour abriter les reproductions héliogravées de la Carte du Ciel témoignent de l'engagement de Rayet dans l'aventure scientifique à laquelle il participa sans relâche jusqu'à sa mort en 1906.

Les plaques du Catalogue n'étaient pas quant à elles destinées à être reproduites et diffusées, elles devaient être mesurées. Même si une partie des réductions finales fut menée de façon centralisée dans certains des grands observatoires participant à l'opération, la plupart des observatoires participant à l'opération durent procéder sur place à ces mesures^[40]. Ce fut notamment le cas à Alger et à Bordeaux.

Un instrument nouveau : la machine à mesurer

Dès 1886, Gautier avait développé à la demande des frères Henry un « appareil micrométrique destiné à mesurer les épreuves photographiques », appareil qui fut appelé « macro-micromètre » (Fig. 9.6). Cet ancêtre des machines à mesurer de la Carte du Ciel était constitué d'un chariot sur rails entraîné par une vis micrométrique et portant un plateau circulaire horizontal tournant sur lequel était placée la plaque à mesurer. Éclairée par-dessous au moyen d'un miroir, la plaque était mesurée à l'aide d'un microscope muni d'un micromètre à vis^[41].

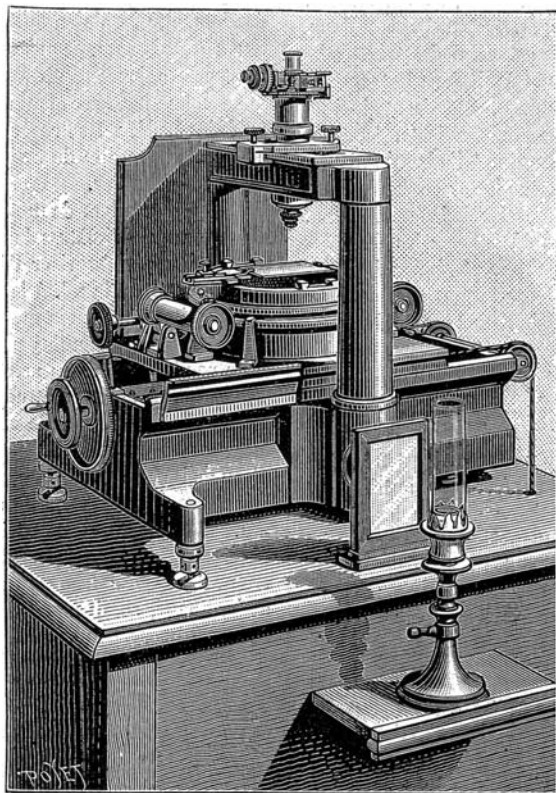


Figure 9.7. Macro-micromètre des frères Henry.

Si les diverses machines à mesurer de Gautier conservées à Alger et à Bordeaux relèvent du principe du « macro-micromètre », le « *nouveau modèle imaginé par M. Gautier* » pour la Carte du Ciel (Fig. 9.7 et 9.8) en diffère notablement dans la mise en œuvre. Fraissinet, l'influent secrétaire général de l'Observatoire de Paris, donna en 1893 une description détaillée de la nouvelle machine dans la revue *La Nature* :

« L'appareil est en fonte ; il se compose, à la partie inférieure, d'une pièce fixe horizontale munie de deux rails sur lesquels glisse un plan incliné à 45 degrés qu'entraîne une vis longue de 0m, 18 et dont le pas est de 0m, 005. Sur le plan incliné, une autre vis, de même longueur que la précédente, entraîne un cadre en fonte sur lequel peut se mouvoir un cercle non gradué portant le cadre destiné à recevoir le cliché à mesurer.

Chaque plaque, une fois installée, est susceptible d'un triple mouvement ; un mouvement de rotation servant à l'orienter suivant une direction déterminée,

et deux mouvements rectilignes dont l'un a lieu sur la pièce horizontale, l'autre sur le plan incliné. Chacune de ces deux dernières pièces est munie d'une échelle divisée en millimètres servant à compter les tours de la vis. La pièce recourbée qui fait partie du bâti inférieur se termine par une large coulisse destinée à recevoir le microscope et la boîte micrométrique. Les deux vis du micromètre portent chacune un tambour divisé en cent parties ; la valeur du tour de chaque vis diffère peu d'une minute d'arc ; on évalue le dixième de division, de sorte que les lectures peuvent être faites à 0",06 près »^[42].

Outre l'amélioration de la précision des mesures, le « nouveau modèle » avait aussi l'immense avantage de diminuer l'inconfort de la personne employée aux mesures en plaçant les plaques sur un support à 45° et non plus sur un support horizontal. De plus l'utilisation de la fonte pour la machine et pour son socle garantissait à l'ensemble une meilleure stabilité, gage d'une meilleure précision des mesures.

Dans son article de 1893, Fraissinet s'aventura aussi à décrire comment les clichés du Catalogue devraient être mesurés : « *On pointe successivement avec les couples de fils d'araignée mus par les deux vis dont nous venons de parler, les deux images de chaque étoile obtenues avec des durées de pose de 5 minutes et de 2 minutes et demie, et les traits du réseau qui comprennent ces deux images. L'image correspondant à la troisième pose, de 20 secondes, sera utilisée pour la détermination des grandeurs ; elle permettra en outre de juger de l'état de transparence de l'atmosphère »*

^[43].

Mais à l'usage, comme Loewy le souligna dans son long article de 1902, les choses ne furent pas aussi simples : « *Les méthodes utilisées [...] n'avaient pas au préalable reçu la sanction d'une pratique prolongée. Il n'est donc pas étonnant que, dans des études de nature si complexe, de légères imperfections se soient révélées dans le mode d'opération »*

^[44].

À la mort de Gautier en 1909, la construction des machines à mesurer fut poursuivie en France par son successeur Georges Prin. Par la suite la maison Zeiss construisit plusieurs machines à mesurer de précision. Celle que l'observatoire de Besançon acquit dans les années 1960 fut transférée à Bordeaux pour révision technique, avant d'être emballée et expédiée au Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG) d'Alger dans les années 1980 – où elle se trouve encore. Selon un rapport datant des années 1980 établi par

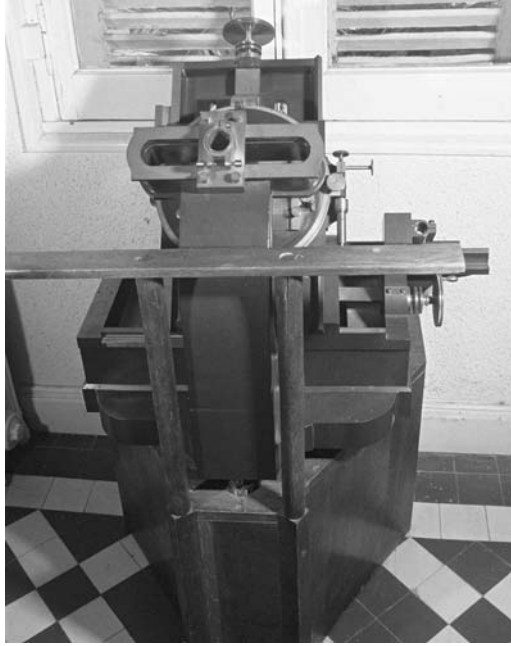


Figure 9.8. Machine à mesurer les clichés de la Carte du Ciel, commandée par G. Rayet à Gautier fin 1891 et livrée en mars 1893. Seul le micromètre d'origine est signé par Gautier.



Figure 9.9. Machine à mesurer les clichés de la Carte du Ciel de l'observatoire d'Alger.

la maison Zeiss, cette machine serait identique à celle équipant l'observatoire Babelsberg à Potsdam. Une autre machine Zeiss acquise par Pierre Sémirot^[45] en 1960, ainsi qu'une troisième construite en juillet 1964 et cédée par l'IGN vers 1975, furent numérisées dans les années 1980 et sont conservées à l'observatoire de Bordeaux.

Conclusion

De l'analyse des traces matérielles de la Carte du Ciel dans les observatoires d'Alger et de Bordeaux il ressort tout d'abord que l'inventaire systématique du patrimoine astronomique a permis de passer de l'étude accumulative d'objets isolés à leur étude thématique sur un site, puis à leur étude thématique comparative sur plusieurs sites. Les études patrimoniales menées dans ce cadre ont de ce fait apporté une dimension insoupçonnée à certains des objets examinés. Ainsi le regard porté initialement sur des objets mobiliers ou immobiliers étudiés isolément à Bordeaux ou à Alger diffère-t-il considérablement du regard porté sur ces mêmes objets considérés sous l'angle de l'opération Carte du Ciel.

Grâce à l'étude comparée des lunettes photographiques, nous avons montré les circonstances et la réalisation de l'implantation – pour la première fois dans l'histoire de l'astronomie instrumentale – d'instruments d'observation identiques^[46] : un instrument nouveau construit en série à partir de l'instrument singulier que les frères Henry avaient développé à Paris en vue de procéder à une cartographie du ciel rapide et efficace au voisinage et dans la Voie Lactée. Destinée à rester unique comme la plupart des instruments astronomiques installés dans les observatoires, c'est accidentellement que cette lunette photographique devint un prototype – l'accident en question relevant de la concomitance de possibilités techniques, de questionnements scientifiques et de rencontres humaines.

L'étude comparée de la mise en place des deux lunettes étudiées a aussi permis de mettre en évidence deux éléments échappant à la normalisation présidant justement à leur conception : la construction de l'abri de ces instruments et la conception des micromètres équipant la lunette visuelle. Les différences remarquées dans la réalisation des abris relèvent de conjonctures locales différentes : à Bordeaux, la ville offrit un bâtiment nouveau à l'observatoire, tandis qu'à Alger l'État décida d'utiliser un abri déjà programmé dans le cadre de la réorganisation de l'établissement. Par contre les variantes constatées entre

les micromètres reflètent les détournements d'usage de l'instrument à des fins autres que la Carte du Ciel envisagés dès les tout débuts de l'opération par Rayet et Trépied.

L'étude des machines à mesurer les plaques a permis quant à elle de retracer leur protohistoire au travers de la description du macro-micromètre, conçu à l'origine uniquement comme un instrument de précision dont la fonction était de mesurer des longueurs sur les plaques. Les modifications apportées ultérieurement à cet instrument dans le cadre de l'exploitation à grande échelle des plaques photographiques prises pour le Catalogue de la Carte du Ciel sont essentiellement d'ordre ergonomique. Le nouveau design^[47] de l'instrument – au passage devenu « machine »^[48] – fait apparaître en filigrane la présence de l'utilisateur : plaques et micromètres orientés vers les yeux de l'utilisateur en position assise, parties en bois matérialisant la limite entre la machine et le corps. Les modifications apportées à l'instrument dénotent également le souci de performance recherché dans l'accomplissement de la tâche scientifique accomplie avec la machine. Cette préoccupation rejoint celle déjà exprimée en 1871 par Maurice Loewy à l'occasion de l'invention de l'équatorial coudé, instrument inspiré de l'équatorial droit et du cercle méridien et destiné notamment à procurer à l'astronome un certain confort d'observation. À l'instar de l'invention de la lunette coudée, celle de la machine à mesurer a pour objectif de diminuer l'inconfort de l'utilisateur, non pour faciliter la tâche de ce dernier, mais pour augmenter ses performances. Sa moindre fatigue physique lui permettra d'observer les astres ou de mesurer les plaques plus longtemps – donc au bout du compte de produire des données de qualité en plus grande quantité. Dans un cas, les possibilités d'observation d'une belle et longue nuit seront mieux exploitées, dans l'autre un plus grand nombre de plaques seront traitées sans erreur dans un même laps de temps. Les améliorations instrumentales augmentent ainsi l'efficacité d'un travail routinier ingrat et physiquement éprouvant.

Les quelques exemples ci-dessus montrent que les études patrimoniales suscitées par l'inventaire non seulement permettent d'augmenter et de croiser les connaissances sur tel ou tel objet, mais constituent un potentiel d'interprétation d'une grande richesse pour la mise en valeur de ce patrimoine par les observatoires ou les universités qui en assument la conservation-sauvegarde. Cet aspect nous semble d'autant plus important que le patrimoine de la fin du XIX^e siècle dont il a été question ici possède l'immense avantage d'accorder une place visible aux utilisateurs/acteurs à chaque étape de la chaîne des opérations

scientifiques. Qu'il s'agisse de la préparation du châssis ou du développement des plaques dans l'obscurité du laboratoire photographique, de la prise de vue et de son délicat suivi dans l'obscurité de la coupole, de l'épuisante mesure des plaques avec les machines et des fastidieux calculs intermédiaires, de l'impression du Catalogue et de la reproduction sur papier des plaques de la Carte, l'homme – et désormais la femme – sont partout présents. Atout considérable que cette présence humaine qui au cours du ^{xx}e siècle disparut peu à peu avec la construction d'instruments dont les dimensions de plus en plus en considérables écartèrent l'homme – aux dimensions inchangées – du feu des multiples actions précédemment nécessaires, pour le reléguer à distance, face aux écrans et aux claviers d'ordinateur.

En guise de conclusion nous exprimons le vœu que les études menées à ce jour sur les bâtiments et les instruments des observatoires d'Alger et de Bordeaux contribuent non seulement à la conservation et à la sauvegarde, mais aussi à la mise en valeur *in situ*^[49] et à la protection légale d'un patrimoine astronomique mobilier et immobilier exceptionnel.

Il nous semble de plus que, par-delà ces opérations locales, la mémoire de la science ne pourrait qu'être enrichie au plan mondial si de telles études étaient menées dans les autres établissements du réseau scientifique international formé à l'occasion de la Carte du Ciel et précurseur du fonctionnement de la science d'aujourd'hui. Il nous semble aussi que les traces matérielles de cette grande aventure scientifique partagée pourraient relever du patrimoine de l'humanité.

Les auteurs tiennent à remercier Jean-François le Campion pour les informations qu'il leur a fournies concernant la « clicheothèque » de Bordeaux. Ils remercient également Francis Grousset, directeur de l'Observatoire Astronomique des Sciences de l'Univers (OASU/LAB), Thierry Jacq, directeur du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (LAB), et Karim Yelles, directeur du Centre de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique (CRAAG) d'Alger, pour leurs actions en faveur de la conservation-sauvegarde du patrimoine astronomique de leurs établissements.

Références

- [1] La question de la reproduction des clichés a également fait l'objet de recherches spécifiques.
- [2] Greenwich (Angleterre), Le Vatican (Cité du Vatican), Catane (Italie), Helsinki (Finlande), Potsdam (Allemagne) – ainsi que Oxford (Angleterre) et Uccle (Belgique) pour la fin de la zone assignée à Potsdam –, Paris, Toulouse et Bordeaux (France), Alger (aujourd'hui Algérie), San Fernando (Espagne), Tacubaya (Mexique), Hyderabad (Inde) à la place de Santiago (Chili), Cordoba (Argentine) à la place de La Plata, Perth (Australie) à la place de Rio de Janeiro (Brésil), Le Cap (aujourd'hui Afrique du Sud), Sydney et Melbourne (aujourd'hui Australie). Cf. <http://www.astropa.unipa.it/biblioteca/CarteduCiel/catalogo.htm>
- [3] Greenwich, Le Vatican, Uccle, Paris, Bordeaux, Toulouse, Alger, San Fernando, Tacubaya, Cordoba. Cf. <http://www.astropa.unipa.it/biblioteca/CarteduCiel/mappe.htm>
- [4] Mission composée de Jean Davoigneau, chercheur à la DAPA, Marc Heller, photographe au service de l'Inventaire de la DRAC PACA, Claude Verrier, architecte des bâtiments de France au SDAP des Alpes-Maritimes et Françoise Le Guet Tully, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur, et reçue au CRAAG d'Alger par Karim Yelles, directeur, et Hamid Sadsaoud, astronome.
- [5] Inventaire réalisé par Jean Davoigneau, chercheur à la DAPA, Michel Dubau, photographe à la DRAC Aquitaine, Anthony Turner, expert et historien des sciences, Françoise Le Guet Tully, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur, avec le concours à Bordeaux de Jérôme de La Noë, directeur de recherche CNRS émérite et Jean-Michel Rousseau, astronome-adjoint à la retraite.
- [6] Françoise Le Guet Tully.
- [7] Jean Davoigneau, « Le patrimoine des observatoires astronomiques : l'inventaire » *Regards sur le patrimoine culturel des universités : patrimoines artistique, scientifique, ethnologique*, séminaire national interministériel, ministère de la Culture et de la Communication et ministère de la Jeunesse, de l'Education nationale et de la Recherche, Université scientifique et technique de Lille, 1^{er}-2 avril 2004 (<http://ustl1.univ-lille1.fr/culture/agenda/o4/patrimoine/txt/36leguettully.pdf>).
- [8] Jérôme Lamy, Béatrice Motard, « Le patrimoine astronomique français : de la curiosité à l'inventaire », *La Lettre de l'OCIM*, n° 84, novembre-décembre 2002, pp. 5-7.
- [9] Carlos Jaschek, Françoise Le Guet Tully, *Patrimoine des observatoires*, Strasbourg, INSU et Observatoire de Strasbourg, 1992, 50 p.

- [10] Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, « L'inventaire du patrimoine astronomique en France », *Scientific Instruments and Museums, Proceedings of the XXth International Congress of History of Science, Liège, 20-26 July 1997*, vol. XVI, Paris, Brepols, 2002, p. 211-217.
- [11] Actuellement Direction de l'Architecture et du Patrimoine.
- [12] Ce vocabulaire fut ensuite rapidement adapté au cas des instruments scientifiques en général, l'opération nationale d'inventaire du patrimoine astronomique ayant suscité des demandes d'inventaire en provenance de collections d'instruments appartenant à des laboratoires de recherche ou à des établissements d'enseignement.
- [13] Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, « L'aventure de l'inventaire », *La Lettre de l'OCIM*, n° 84, novembre-décembre 2002, p. 9.
- [14] Hélène Verdier (Dir.), *Thesaurus des objets mobiliers*, Paris : Monum, Éditions du patrimoine, 2001, 352 p.
- [15] *Ibidem*, p 5.
- [16] *Ibidem*, p 5.
- [17] Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, *op. cit.*, p. 12.
- [18] Robert G.W. Anderson, « Instruments, Inventories and Catalogues », *Scientific Instruments and Museums, Proceedings of the XXth International Congress of History of Science, Liège, 20-26 July 1997*, vol. XVI, Paris, Brepols, 2002, pp. 145-152.
- [19] Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, *op. cit.*, p. 13.
- [20] Jean Davoigneau, Françoise Le Guet Tully, « L'inventaire du patrimoine astronomique », *Culture et Recherche*, n° 104, janvier-février-mars 2005, p. 16.
- [21] La carte devait faire apparaître les étoiles jusqu'à la magnitude 14, tandis que le catalogue devait fournir la position des étoiles jusqu'à la magnitude 11.
- [22] À Bordeaux comme à Alger, ce système d'entraînement fut démonté au début des années 1960 et remplacé par un moteur synchrone asservi à une horloge à quartz. Le régulateur à ailettes de Bordeaux figure dans l'inventaire.
- [23] Georges Rayet, *Bulletin du Comité international permanent pour l'exécution photographique de la Carte du Ciel*, 3^e fascicule, 1889, p 213. La construction de la coupole fut confiée aux Établissements du Creusot (*Registre manuscrit des achats de 1879 à 1935*, archives de l'observatoire de Bordeaux).
- [24] Compte tenu du statut particulier de l'Algérie, seul l'État participait au financement de l'observatoire (cf. Françoise Le Guet Tully, Hamid Sadsaoud, Marc Heller, « La création de l'observatoire d'Alger », *La Revue*, Musée des arts et métiers, n° 38, juin 2003, pp. 26-35.
- [25] Outre l'astrographe, furent installés sur le plateau dans des abris séparés un télescope de Foucault de 50 cm, un équatorial coudé de Loewy de 34 cm, un grand cercle méridien de 20 cm ainsi qu'un petit cercle méridien.

- [26] À Bordeaux au début des années 1950 le développement des clichés avait été transféré dans un laboratoire photographique mieux équipé, actuellement désaffecté. La technique photographique argentique ayant été aujourd'hui complètement abandonnée au profit de l'imagerie astronomique, la conservation à Bordeaux du laboratoire photographique d'origine est donc un atout muséographique important.
- [27] « *Pour les clichés du Catalogue, il y aura deux poses sur la même plaque, l'une montrant faiblement les images des étoiles de 11^e grandeur, l'autre de durée deux fois plus grande, et la distance des deux images sera de 2 à 3 dixièmes de millimètre* », Résolution n° 23, *Réunion du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1891, p. 132. L'écart pouvait être obtenu en ascension droite par l'arrêt de l'entraînement de l'instrument. Cependant lors des discussions de 1889, aussi bien Christie, l'astronome royal de Greenwich, que Prosper Henry avaient vu « *des avantages à faire ce déplacement en déclinaison* », aussi le Comité recommanda-t-il que « *l'observateur effectue le déplacement en déclinaison si son instrument lui permet de le faire, c'est-à-dire s'il est muni d'un micromètre* », *Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1889, p. 61. Par la suite les instructions furent encore modifiées et les micromètres de précision furent utilisés pour obtenir trois poses triangulaires.
- [28] Ayant probablement en vue des « recherches personnelles » lors de la commande de leur micromètre, Trépied et Rayet demandèrent probablement à Gautier des spécificités correspondant à leurs projets. Dès 1889 la possibilité d'accomplir avec l'instrument d'autres travaux photographiques que ceux de la Carte du Ciel avait été encouragée par Mouchez, conscient que « *ce travail sera assez ingrat, exigeant beaucoup de patience et de dévouement à la Science, sans donner en retour aucun intérêt immédiat, aucune satisfaction d'amour-propre, autre que celle du devoir accompli* » (*Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1889, pp. 6-7).
- [29] Ce parquet mériterait d'être restauré et entretenu selon les règles de l'art. La technique du parquet étant peu usitée en Algérie, une collaboration avec des artisans spécialisés est probablement nécessaire pour mener à bien sa restauration.
- [30] Résolution n° 15, *Réunion du comité international permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1891, p. 132.
- [31] Résolution n° 6, *Comité international permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1889, p. 107.
- [32] Le champ des clichés était de 2° en déclinaison et en ascension droite.
- [33] *Réunion du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1891, p. 121. Gautier fut semble-t-il chargé de la construction des réseaux pour l'ensemble des partenaires de l'opération.

- [34] *Bulletin du Comité international permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, 4^e fascicule, 1890, pp. 257-261.
- [35] Les enjeux devinrent encore plus importants lorsque fin 1900 fut entrepris dans le cadre de la Carte du Ciel « *un second travail international* », à savoir l'observation d'Eros en vue de « *la détermination de la distance moyenne du Soleil à la Terre* ». Découvert en 1898, cet astéroïde passant à proximité de la Terre fut l'objet en 1900-1901 d'une grande campagne d'observations orchestrée par Loewy. Grâce à la collaboration d'une cinquantaine d'observatoires, la mesure de la parallaxe – donnée astronomique fondamentale pour la mesure de l'univers – fut considérablement améliorée. À cette occasion Loewy publia un important article intitulé « Étude des conditions à réaliser dans l'exécution des clichés pour obtenir l'homogénéité et le maximum d'exactitude dans la détermination des coordonnées des images stellaires. Formules pour évaluer l'ensemble des causes d'erreur qui altèrent les résultats » (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T 134, 1902, pp. 381-387).
- [36] *Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel*, Paris, 1889, pp. 38-39.
- [37] Nils Dunér (Upsala), Pujazon (San Fernando), Prosper Henry (Paris), Hendricus Gerardus van de Sande Bakhuyzen (Leyde), William Christie (Greenwich), Charles Trépied (Alger), Maurice Loewy (Paris).
- [38] Le décompte exact des clichés de la Carte effectivement reproduits n'a pas été fait. D'après une estimation effectuée à la bibliothèque de l'observatoire de la Côte d'Azur il y aurait environ 5 000 feuilles pour les déclinaisons comprises entre -15° et 61° .
- [39] Gaston Tissandier, « La Carte du Ciel à l'Observatoire de Paris », *La Nature*, 25 avril 1887, p. 322.
- [40] En 1891 Mouchez fit construire à l'Observatoire de Paris un nouveau pavillon, formant une annexe des coupoles du jardin placées sous la responsabilité des Henry. Ce bâtiment abrita dès 1892 le bureau chargé de la mesure des clichés du Catalogue.
- [41] Gaston Tissandier, « La photographie céleste à l'Observatoire de Paris », *La Nature*, 26 février 1887, pp. 200-202.
- [42] Auguste Fraissinet, « Le service de la carte photographique du ciel à l'Observatoire de Paris », *La Nature*, 1893, pp. 131-134. Fraissinet (1846-1909), entré comme assistant en 1863 à l'Observatoire de Paris, devint aide-astronome, puis en 1875 secrétaire agent-comptable.
- [43] *Ibidem*.
- [44] Maurice Loewy, « Étude des conditions à réaliser dans l'exécution des clichés pour obtenir l'homogénéité et le maximum d'exactitude dans la détermination des coordonnées des images stellaires. Formules pour évaluer l'ensemble des causes d'erreur qui altèrent les résultats », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T 134, 1902, pp. 381-382.

- [45] Pierre Sémirot (1907-1972), directeur de l'observatoire de Bordeaux de 1947 à 1970 et président de la commission de la Carte du Ciel de l'UAI de 1961 à 1970.
- [46] À l'occasion du passage de Vénus en 1882 une série de huit lunettes identiques avaient été construites par Gautier à la demande du Bureau des longitudes. Cependant il ne s'agissait pas du développement d'un prototype destiné à de nouvelles recherches mais de la fabrication en série et rapidement d'une lunette simplifiée adaptée à l'observation de ce phénomène céleste si important pour la détermination d'une valeur améliorée de la parallaxe du Soleil, c'est-à-dire de la distance Terre-Soleil. Durant la décennie 1880-1890, Gautier reçut aussi commande de six lunettes équatoriales coudées de Loewy mais, bien qu'inspirés du même prototype, chacun de ces instruments aura des caractéristiques uniques.
- [47] Mot certes anachronique par rapport à la période de conception de la machine, mais pas du point de vue de l'analyse de cette conception.
- [48] Peut-être par analogie avec la machine à calculer de Pascal ou avec la machine à diviser – notamment celle tout récemment utilisée en spectroscopie par Rowland (1848-1901) pour les réseaux de diffraction. Le mot « machine » est entendu dans ce cas comme « appareil combiné pour produire certains effets » (*Nouveau Larousse illustré*, Claude Augé, Paris, Larousse, 1898-1907, 7 volumes et un supplément). Comme la machine à coudre, la toute nouvelle machine à écrire, ou les machines agricoles à battre, à faner et à moissonner, ces « machines » permettent de faciliter des « opérations machinales », c'est-à-dire combinant des opérations répétitives, longues et fatigantes (cf. Eugène Oscar Lami, *Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'industrie et des arts industriels*, Paris, 1881-1891, 8 volumes).
- [49] L'implantation de ces instruments et de leurs abris sur des sites astronomiques remarquables choisis avec grand soin pour leur altitude et leur isolement à proximité d'une ville garantissait des conditions d'utilisation optimales. Leur mise en valeur *in situ* constitue donc un atout muséologique majeur.

Conclusion

Au terme de cet ouvrage collectif, il convient de mettre en perspective les différentes études proposées et de dégager les lignes de force du renouvellement historiographique que nous avons proposé.

Ileana Chinnici a mis en évidence, dans le chapitre 1, la multiplicité des facteurs scientifiques, techniques, culturels, politiques et organisationnels qui ont marqué la genèse et le déploiement de la Carte du Ciel comme entreprise scientifique. Ainsi les rapports de force géopolitiques ne constituent pas un simple arrière-fond sur lequel viendrait prendre appui Mouchez pour mettre en œuvre son projet. L'investissement actif de la France dans le projet est à mettre en relation avec la volonté de la jeune troisième République de valoriser sa nouvelle politique scientifique ambitieuse. Certains établissements astronomiques, comme ceux de Catane ou du Vatican, participent à la Carte du Ciel afin d'obtenir une plus grande visibilité dans la communauté scientifique. La variété des enjeux s'harmonise difficilement avec la nécessaire uniformisation des techniques mises en œuvre. En particulier, la compétition industrielle entre la France et l'Angleterre a interdit la production d'un seul et même instrument pour tous les observatoires engagés dans le projet. Ileana Chinnici souligne enfin que la tension entre la mise au point du catalogue et la réalisation des clichés ainsi que le surgissement de nouvelles problématiques scientifiques en cours de projet ont déstabilisé le projet puis provoqué son enlisement progressif.

Jérôme Lamy revient, dans le chapitre 2, sur la manière dont les dirigeants de la Carte du Ciel ont dû résoudre un problème majeur d'organisation. Un tel projet suppose, pour sa bonne réalisation, la mise au point d'un système normatif encadrant la pratique. Dans une période marquée par un régime de savoirs encore calqué sur l'usine et les processus industriels (*i.e.* division des tâches, forte hiérarchisation des activités, distribution des secteurs de compétence), la définition d'un mode opératoire unique pour tous les observatoires participant à la Carte du Ciel semble aller de soi. Très rapidement, ce cadre est jugé trop rigide et contraignant par les astronomes chargés de réaliser le catalogue et de faire les clichés. Les instances dirigeantes de la Carte du Ciel (notamment Ernest Mouchez) infléchissent donc une organisation trop verticale de la pratique. Les Conférences et le *Bulletin du Comité International Permanent pour l'exécution de la Carte du Ciel* sont deux espaces de dialogue qui prennent en compte les pratiques de chaque observateur et qui permettent d'adapter les règles de fonctionnement de la Carte du Ciel. En conclusion, Jérôme Lamy met en évidence le lien puissant qui existe entre le mode d'organisation républicain en France (*i.e.* nouvelles règles démocratiques, libre circulation des opinions) et les transformations structurelles de la Carte du Ciel.

Françoise Le Guet Tully, Jérôme de La Nöe et Hamid Sadsaoud proposent, dans le chapitre 3, un panorama complet du paysage institutionnel et instrumental de l'astronomie française au moment où la réalisation Carte du Ciel est engagée. Cette vaste contextualisation permet de suivre avec attention les effets de la rupture qu'a constituée la troisième République pour l'organisation de l'astronomie en France. Après la gestion autocratique de l'Observatoire de Paris sous la férule de Le Verrier pendant le Second Empire, puis une période d'incertitude jusqu'à sa mort en 1877, le pouvoir politique républicain met en place une architecture législative qui pacifie l'établissement parisien grâce à une direction partagée entre Ernest Mouchez, le directeur, et Maurice Loewy le sous-directeur. Ce dernier œuvre pour la recomposition du capital instrumental de l'Observatoire de Paris. Dans le même temps, la décentralisation progressive des forces astronomiques permet la constitution d'un réseau d'observatoires de province. Marseille et Alger sont détachés de Paris dont ils étaient des succursales, Toulouse est relancé, Besançon, Lyon et Bordeaux sont créés. Ces établissements ont, en fonction de leurs histoires et des objectifs qui leur sont assignés, des ressources techniques et cognitives très différentes. Ainsi Lyon est-il orienté vers la production de données météorologiques alors que Besançon axe une grande partie de ses travaux sur la chronométrie. Marseille dispose d'un parc

instrumental performant dès le début des années 1880 alors que Toulouse doit attendre le début des années 1890 pour renouveler ses outils techniques. Ces dispositions différentielles vont jouer un rôle essentiel dans le choix des trois observatoires de province qui vont être impliqués dans le projet de la Carte du Ciel (l'implication parisienne étant évidente). Alger est choisie pour son climat particulièrement favorable ; l'enthousiasme du directeur de l'observatoire de Bordeaux, Rayet, séduit le Conseil des observatoires de Province. La dynamique toulousaine de recomposition des forces instrumentales et cognitives est également soutenue. En revanche le programme chargé de l'observatoire de Marseille interdit de lui ajouter une nouvelle activité ; de même les orientations scientifiques déjà marquées de Lyon et de Besançon expliquent que ces établissements restent à l'écart du projet de la Carte du Ciel.

Arnaud Saint-Martin détaille, dans le chapitre 4, la crise que traverse l'astronomie française à partir des années 1920. Les nombreuses critiques dont fait l'objet la Carte du Ciel à cette époque visent également – et plus profondément – l'Observatoire de Paris et le fonctionnement de l'astronomie. Le cadre des observatoires de l'État, tel qu'il a été instauré au début de la troisième République, n'est plus efficient au sortir de la Première Guerre mondiale. L'omnipotence parisienne et le dénuement provincial créent un grave déséquilibre des forces et des ressources astronomiques. Les choix scientifiques classiques (*i.e.* l'astrométrie) sont également remis en question, notamment par Henri Deslandres. Dans ce vaste mouvement critique, la Carte du Ciel n'est pas épargnée. Son orientation indécise et la mobilisation des moyens qu'elle exige sont remises en question. À Paris, Henri Mineur, un jeune astronome, propose une solution à la fois scientifique et organisationnelle très ambitieuse : il envisage de créer un Laboratoire de Statistique Astronomique qui permettrait d'exploiter le corpus de données accumulées par la Carte du Ciel pour réaliser, par exemple, un fichier sur les amas stellaires. Faute de moyens suffisants, le projet n'aboutit pas. Mais les discussions concernant la pertinence de la Carte du Ciel et l'éventualité de sa réorientation sont relayées au sein des instances internationales. En 1935, lors du Congrès de l'Union Astronomique Internationale, les astronomes cernent le problème central (et insoluble) de la Carte du Ciel : le projet devrait être recommencé à chaque progrès technique. En conclusion, Arnaud Saint-Martin remarque qu'il serait trop simple d'expliquer que la Carte du Ciel est la cause du recul de l'astronomie française dans l'entre-deux guerres. En proposant une analyse socio-historique des armatures institutionnelles et organisationnelles de l'astronomie française des années 1920 et 1930, il met en lumière les causes profondes du

déclin astronomique de la France, qui s'enracinent dans une tension forte entre la centralisation excessive des institutions et le mouvement de spécialisation de la discipline.

Charlotte Bigg décrit, dans le chapitre 5, l'engagement puis le retrait de l'observatoire de Potsdam dans le projet de la Carte du Ciel. Sollicités par Ernest Mouchez pour prendre part au Congrès fondateur de 1887, les astronomes allemands se montrent ambivalents. Ils jugent le projet trop ambitieux et estiment qu'ils n'ont pas les compétences nécessaires dans le domaine de l'astronomie photographique. Par ailleurs, les scientifiques allemands ont toujours été à la pointe des recherches en ce qui concerne les catalogues stellaires. Les tensions géopolitiques – depuis la guerre de 1870-1871 – les contraignent cependant à soutenir publiquement le projet de Mouchez. Finalement, seul Hermann Carl Vogel, directeur de l'observatoire de Potsdam, s'engage dans l'entreprise. Il parvient à réunir les instruments nécessaires. Toutefois, si l'établissement scientifique prussien produit sept volumes indiquant les positions d'une partie des étoiles qui lui étaient attribuées, il ne participe pas à la mesure des clichés. D'autres travaux – notamment la spectroscopie stellaire jugée plus innovante – mobilisent, dès la fin des années 1880 l'observatoire de Postdam. Finalement, en 1904, Vogel annonce à Mouchez que son établissement se retire du projet. Charlotte Bigg montre comment l'astronome allemand, d'abord tenté par ce qui semblait être un projet novateur dans les années 1880 (la cartographie complète du ciel), est ensuite séduit par l'avant-gardisme de la spectroscopie stellaire au début des années 1890. L'engagement puis le retrait de l'observatoire de Postdam dans l'entreprise de la Carte du Ciel témoigne donc, de la part de Vogel, d'une recherche permanente des axes scientifiques les plus innovants et les plus prometteurs.

Emmanuel Davoust, dans le chapitre 6, retrace la manière dont il a pu récemment tirer bénéfice de l'examen des plaques de la Carte du Ciel. Le dispositif qu'il a développé lui a permis de détecter l'extinction interstellaire sur les clichés pris à l'observatoire de Toulouse. Il souligne que les 10 000 plaques existantes constituent un potentiel d'étude remarquable pour la distribution de la matière interstellaire dans la Galaxie.

Alain Fresneau décrit, dans le chapitre 7, le protocole qui lui a permis de rechercher des étoiles variables sur les clichés de la Carte du Ciel. Dans chaque cliché, la relation entre la magnitude connue de certaines étoiles et la densité

photographique est calibrée, ce qui permet d'obtenir la magnitude des autres étoiles. On peut ainsi identifier des étoiles variables en comparant plusieurs clichés. La méthode doit permettre de tirer un parti inattendu d'un grand nombre de clichés de la Carte du Ciel.

Frédéric Arenou et Catherine Turon, dans le chapitre 8, comparent la Carte du Ciel au projet plus récent de satellite astrométrique Hipparcos-Tycho. L'astrométrie est loin d'être absente des problématiques astronomiques actuelles, même si elle n'occupe plus la même place dans les programmes scientifiques qu'à la fin du ^{xix}^e siècle. Les auteurs remarquent que si la Carte du Ciel n'a pas eu d'utilité pour le programme central du satellite Hipparcos, la combinaison du catalogue de la Carte du Ciel et des données du programme auxiliaire Tycho a permis des applications diverses concernant notamment la structure galactique et les étoiles binaires. Les auteurs dressent une comparaison entre le projet de la Carte du Ciel et les projets spatiaux comme Hipparcos. Ils remarquent très justement qu'Hipparcos ne visait pas à créer une œuvre testamentaire et définitive sur l'état du ciel. Mais il a fait, contrairement à la Carte du Ciel, l'objet d'une estimation précise des coûts et des délais : ce sont des opérations désormais impératives dans les projets scientifiques. Cette comparaison rétrospective éclaire les mutations de la pratique astronomique tout en mettant en lumière l'avancée majeure qu'a constituée la Carte du Ciel dans le secteur toujours actif de l'astrométrie, et souligne l'importance du projet de Mouchez dans la genèse d'une dynamique collective et internationale de la pratique scientifique.

Françoise Le Guet Tully, Jean Davoigneau, Jérôme Lamy, Jérôme de La Noë, Jean-Michel Rousseau et Hamid Sadsaoud proposent, dans le chapitre 9, une analyse comparée du patrimoine de la Carte du Ciel. Prenant appui sur l'exemple des observatoires de Bordeaux et d'Alger, ils envisagent des comparaisons instrumentales qui révèlent, *in fine*, une variété assez inattendue des processus techniques et des usages dans la réalisation de ce projet. Ainsi, si l'astrographe des frères Henry, l'instrument de base de la Carte du Ciel, a été envisagé par ces concepteurs comme un outil matriciel et générique fabriqué en série, cette normalisation instrumentale n'exclut pas un certain nombre d'écarts, notamment en ce qui concerne l'appareillage (micromètres) et la protection (abris). L'étude des machines à mesurer les clichés révèle un processus majeur de transformation des outils techniques. Les transformations ergonomiques de l'instrument, entre sa conception abstraite et son usage quotidien, soulignent le surgissement soudain des utilisateurs. Ces derniers s'approprient l'objet et le

modifient pour faciliter leur travail. Du point de vue de la mise en valeur patrimoniale, les instruments astronomiques construits jusqu'à la fin du ^{xix}^e siècle permettent, par leur volume et leur forme, de restituer la place des astronomes et la circulation des observateurs. Ils fournissent une lecture dynamique des pratiques scientifiques. Les auteurs soulignent que le gigantisme des outils techniques du ^{xx}^e siècle interdit, le plus souvent, de saisir simplement la manière dont les astronomes utilisent leurs instruments.

De la genèse du projet de Carte du Ciel à sa mise en valeur patrimoniale, l'ouvrage a ainsi permis de restituer une longue histoire de pratiques astronomiques insérées dans des contextes scientifiques, techniques, politiques, sociaux et culturels qui n'ont cessé de varier. Programme ambitieux en 1887, la Carte du Ciel se démonétise rapidement face à la montée en puissance de l'astronomie physique. L'astrométrie n'est pas abandonnée (comme en témoigne le programme Hipparcos) mais elle ne constitue plus, dès le début du ^{xx}^e siècle, un axe prioritaire de la science astronomique. Dans le même temps l'indécision chronique quant aux objectifs à atteindre (mise au point du catalogue ou réalisation de la carte ?) participe d'un inexorable enlisement. La suspension officielle du programme en 1970 interrompt une œuvre gigantesque dont ses fondateurs n'avaient probablement mesuré ni l'ampleur ni le coût. Toutefois les différentes contributions réunies dans cet ouvrage mettent en évidence qu'au-delà d'un échec avéré de la Carte du Ciel, ce projet constitue le point de départ d'une politique scientifique résolument internationale. Bien plus que par son objet (l'astrométrie) ou les techniques mobilisées (la photographie), c'est par son organisation à l'échelle du globe que la Carte du Ciel constitue une inflexion majeure pour l'astronomie. Si le mouvement d'une internationalisation de la science s'est intensifié au ^{xix}^e siècle avec la multiplication des colloques transnationaux^[1], la coordination d'un programme de recherche mondial impliquant une harmonisation des méthodes et des instruments signale une rupture majeure dans la manière de concevoir l'activité scientifique. Premier projet international de grande envergure en astronomie, celui du contre-amiral Mouchez ouvre donc une nouvelle ère de pratiques scientifiques – toujours actuelles –, axées sur des coopérations entre de nombreux pays.

Références

- [1] A. Rasmussen, « Jalons pour une histoire des congrès internationaux au XIX^e SIÈCLE : régulation scientifique et propagande intellectuelle », *Relations internationales*, n° 62, été 1990, pp. 115-133, B. Schroeder-Güdehus, « Les congrès scientifiques et la politique de coopération internationale des académies des sciences », *Relations internationales*, n° 62, été 1990, pp. 135-148. Plus généralement voir : Yves Gingras, « Les formes spécifiques de l'internationalité du champ scientifique », *Actes de la recherche en sciences sociales*, n° 141-142, mars 2002, pp. 31-45.

Bibliographie sommaire

Nous avons regroupé, dans cette bibliographie, les recherches historiques récentes directement centrées sur la Carte du Ciel.

BIGG, C., « Photography and the labour history of astrometry: The Carte du Ciel », *Acta Historica Astronomiae*, 2000, vol. 9, pp. 90-106.

BRÜCK, M.T., « Lady Computers at Greenwich in the early 1890s », *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 1995, vol. 36, pp. 83-95.

CHINNICI, I., *La Carte du Ciel. Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Paris, Observatoire de Paris, Palerme, Osservatorio Astronomico di Palermo G. S. Vaiana, 1999.

CHINNICI, I., « Il contributo dell'Italia all'impresa della Carte du Ciel », *Giornale di Astronomia*, n° 3, 1995, pp. 11-22.

DÉBARBAT S., EDDY J.A., EICHHORN H.K., UPGREN (eds.), *Mapping the Sky – Past heritage and future directions IAU Symposium n°133 (Paris, June 1987)*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1988.

JONES, D.H.P., « Was the Carte du Ciel an Obstruction to the Development of Astrophysics in Europe ? », in André Heck (Ed.), *Information Handling in Astronomy Historical Vistas*, Dordrecht, Kluwer, 2002, pp. 267-271.

JONES, D.H.P., « The scientific value of the Carte du Ciel », *Astronomy & Geophysics*, vol. 41, n° 5, 2000, pp. 16-21.

La mesure du ciel, Catalogue d'une exposition de l'Observatoire de Paris (mai-juin 1987), Paris, Observatoire de Paris, 1987.

- LAMY, J., « La Carte du Ciel et la création du “Bureau des Dames” à l’observatoire de Toulouse », *Nuncius, Journal of the history of science*, vol. XXI, 1, 2006, pp. 101-120.
- LANKFORD, J., « The impact of photography on astronomy » in, O. Gingerich (ed.), *The General History of Astronomy 4A*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984, pp. 16-39.
- LEVERINGTON, D., *A History of Astronomy from 1890 to the Present*, Springer-Verlag, 1995.
- MOUCHEZ, R., *Amiral Mouchez. Marin, Astronome et Soldat, 1821-1892*, Paris, Editions Cujas, 1970.
- OSTERBROCK, D.E., *Pauper & Prince. Ritchey, Hale & Big American Telescopes*, The University of Arizona Press, 1993.
- SEMIROT, P., « La Carte du Ciel », *Vistas in Astronomy*, vol. 13, 1972, pp. 153-154.
- VAN HELDEN, A., « Telescope building 1850-1900 » in, O. Gingerich (Ed.), *The General History of Astronomy 4A*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984, pp. 40-58.
- WEIMER, T., *Brève histoire de la Carte du Ciel en France*, Paris, Observatoire de Paris, 1987.

Index nomenclum

A

Allen, James Alfred van (1914 - 2006), 188
Andoyer, Henri (1862–1929), 53
André, Charles (1842-1912), 82, 90, 98
Arago, François (1786-1853), 70, 77, 85, 205
Argelander, Friedrich (1799-1875), 27, 140,
141, 149, 151
Auwers, Arthur von (1838-1915), 46, 135-
140, 148, 149

B

Bacchus, Pierre, 185
Baeyer, Johann Jacob (1572-1625), 137
Baillaud, Benjamin (1848-1934), 15, 34,
41, 62-64, 67, 80, 89, 106, 109, 111-114,
122-124
Baillaud, Jules (1876-1960), 64, 67, 114-120,
122, 124-126, 206, 207, 211
Bardoux, Agénor (1829-1897), 73
Barnard, Edward Emerson (1857-1923), 175
Berthelot, Marcelin (1827-1907), 74, 106
Bessel, Friedrich Wilhelm (1784-1846), 141,
149, 179-181

Biagioli, Mario, 62
Bigourdan, Guillaume (1851-1932), 77
Bischoffsheim, Raphaël (1825-1906), 73,
76, 78, 82, 103
Blaauw, Adriaan (1914-), 125, 192
Bond, William Cranch (1789-1859), 181, 205
Bulard, Charles (1825- ?), 86
Bunsen, Robert (1811-1899), 131

C

Cayrel, R., 192
Clemens, H., 141
Colbert, Jean-Baptiste (1619-1683), 70
Common, Andrews A. (1841-1903), 23, 27,
43, 90
Cooke, William E. (1863-1947), 35, 41
Cruls, Luiz (1848-1908), 22, 23, 39, 182

D

De la Rue, Warren (1815-1889), 20
Deichmüller, 142
Delaunay, Charles (1814-1872), 71, 72, 78, 104
Delhay, J., 8, 192

Deslandres, Henri (1853-1948), 111-114, 123, 124, 239
 Détienne, Marcel, 62
 Donner, Anders (1854-1949), 23, 31, 59
 Doppler, Christian (1803-1853), 143
 Dumont, Albert, 74, 94
 Dunér, Nils (1839-1914), 58, 59, 64

E

Eddington, Arthur S. (1882-1944), 118
 Egret, Daniel, 118
 Ellery, Robert (1827-1908), 50, 59, 64, 145
 Everett, Alice, 141, 151

F

Faure, Félix (1841-1899), 63
 Faye, Hervé (1814-1902), 24, 73, 74, 105, 106
 Fehrenbach, Charles (1914-2008), 121, 127
 Ferry, Jules (1832-1893), 73, 102
 Fizeau, Hippolyte (1819-1896), 143
 Flammarion, Camille (1842-1925), 182, 204, 206
 Flannery, B.P., 174
 Foucault, Léon (1819-1868), 70, 71, 76-80, 86-89, 102, 105, 217, 232
 Fraissinet, 225, 226, 243
 Frédéric Guillaume, 131
 Fresneau, Alain, 164-166, 198

G

Gambetta, Léon (1838-1882), 62
 Gautier, Paul, 22, 26, 37, 48, 51, 58, 81, 85, 91, 105, 114, 151, 217, 219, 221, 223-227, 233, 235
 Gill, David (1843-1914), 20, 21, 27, 29, 32, 36, 37, 39-42, 45, 46, 60, 67, 78, 91, 92, 94, 100, 182
 Goepp, Edouard, 74, 98

Goodricke, John (1734-1786), 182
 Gould, Benjamin Apthorp (1824-1896), 27, 156, 158
 Griffin, Elisabeth, 169
 Grubb, Howard (1844-1931), 36, 37, 42, 133, 217
 Gruely, Jules (1837-1902), 82, 102

H

Hale, George Ellery (1868-1938), 145, 125
 Halley, Edmond (1656-1742), 187
 Henderson, Thomas (1798-1844), 179, 204, 206
 Henry, Paul (1848-1905) et Henry, Prosper (1849-1903), 20-22, 26, 37, 47, 56, 57, 59, 77, 78, 89, 91, 92, 94, 96, 100, 106, 109, 112, 116, 134, 206, 217, 219, 221, 224, 225, 228, 234, 241
 Herget, Paul (1908-1981), 197, 210
 Herschel, William (1738-1822), 179, 181, 205
 Hertzsprung, Ejnar (1873-1967), 118, 156-160, 163, 165, 166, 184, 207
 Høg, E., 185, 187, 207, 208, 210
 Hubble, Edwin (1889-1953), 184, 187
 Huggins, William (1824-1910), 22, 39, 182

J

Jacomy, Bruno, 215
 Janssen, Jules (1824-1907), 55, 72, 73, 106, 134
 Jaschek, Carlos (1926-1999), 208, 214, 215, 231

K

Kapteyn, Jacobus (1851-1922), 30, 117, 125, 163
 Kepler, Johannes (1571-1630), 182
 Kirchhoff, Gustav (1824-1887), 131

Klumpke, Dorothea (1861-1942), 38, 50
 Kovalevsky, Jean, 187, 191, 207, 208, 210
 Krueger, Adalbert (1905-1973), 135-138, 149

L

Lacroute, Pierre (1906-1993), 8, 164, 185,
 192, 207, 209
 Lalande, Jérôme (1732-1807), 13, 141
 Le Guet Tully, Françoise, 215, 231
 Le Verrier, Urbain (1811-1877), 70, 74, 76,
 78-80, 83, 86, 100, 102, 105, 123, 213, 238
 Levy, David H (1948 -), 194
 Lœwy, Maurice (1833-1907), 15, 34, 41, 46,
 73-80, 82, 86, 87, 98, 100, 104, 105, 210,
 226, 220, 232, 234, 235, 238
 Lohse, Oswald (1845-1915), 131, 148
 Liard, Louis (1846-1917), 62, 67, 94
 Louis XIV (1638-1715), 70, 113
 Lundmark, Knut (1889-1958), 118

M

Maanen, Adriaan (1884-1947), 118
 Malraux, André (1901-1976), 215
 Michell, John (1724-1793), 181, 205
 Mignard, F., 192, 208
 Millochau, Gaston (1866 - ?), 109, 111, 121, 122
 Mineur, Henri (1899-1954), 14, 114-118, 124-
 126, 156, 163, 167, 239
 Mouchez, Ernest (1821-1892), 7, 13, 14,
 20-24, 37, 39-42, 45-49, 54, 55, 57, 62-64,
 57, 73, 75, 78, 91, 92, 94, 98, 100, 101, 103,
 106, 109, 114, 124, 130, 134-137, 140, 144,
 145, 148-151, 153, 180, 182, 183, 206, 217,
 233, 234, 237, 238, 240-242, 246

O

O'Connell, Jospeh, 54, 64
 Oort, Jan (1900-1992), 118, 204

P

Pannekoek, Antonie (1873-1960), 118
 Perrault, Claude (1613-1688), 114
 Perrin, Jean (1870-1942), 119
 Pickering, Edward C. (1846-1919), 20, 22,
 32-34, 38-42, 145, 182, 205, 248
 Pogson, Norman (1829-1891), 184
 Press, W.H., 174, 175
 Prin, Georges, 226
 Ptolémée (87-168), 181
 Puiseux, Pierre (1855-1928), 78

R

Rambaud, Charles (1857-1955), 87, 96
 Rayet, Georges (1839-1906), 34, 41, 82-85,
 88, 90, 94-96, 98, 106, 217-219, 224, 227,
 229, 232, 233, 239
 Renz, Franz (1860-1942), 56
 Repsold, Johann Georg (1770-1830), 37, 140,
 217
 Rhijn, Pieter Johannes van (1886-1960), 118
 Rothschild, Albert von (1844-1911), 78
 Russell, Henry N. (1877-1957), 118, 156, 163,
 165, 166, 205

S

Sadi-Carnot (1837-1894), 63
 Saint-Loup, Louis (1831-1913), 82
 Salet, Pierre, 116
 Schaffer, Simon, 51, 62
 Scheiner, Julius (1858-1913), 141-143
 Schjellerup Hans Carl Frederik Christian
 (1827-1887), 141
 Schönfeld, Eduard (1828-1891), 27, 135-138,
 141, 149
 Schwarschild, Karl (1873-1916), 157
 Schwassmann, Arnold (1870-1964), 141
 Seares, Frederick Hanley (1873-1964), 118

Secchi, Angelo, S. J. (1818-1878), 36
 Sémirot, Pierre (1907-1972), 228
 Shapin, Steven, 62
 Simon, Jules (1814-1896), 83
 Spencer Jones, Harold (1890-1960), 118
 Spörer, Friedrich Gustav Wilhelm,
 (1822-1895), 131
 Steinheil, Karl August von (1801-1870), 24,
 37, 133, 140
 Stephan, Edouard (1837-1923), 82, 89, 100,
 106
 Strömberg, Gustav (1882-1962), 118
 Struve, Friedrich Georg Wilhelm von
 (1793-1864), 105, 179, 180, 182, 206
 Struve, Otto W. (1819-1905), 22, 39, 62, 135,
 181, 182

T

Teucholsky, S.A., 174
 Thiele, 24, 41
 Tisserand, Félix (1845-1896), 41, 54, 60, 73,
 77, 80, 90, 98, 104

Todt, 141
 Trépied, Charles (1845-1907), 15, 34, 57, 59,
 64-67, 87, 96, 105, 106, 164, 218, 219, 221,
 229, 233, 234
 Trimble, Virginia, 201, 211
 Turner, Herbet T. (1861-1930), 27

V

Vernant, Jean-Pierre, 62, 66
 Vetterling, W.T., 174, 175
 Vogel, Hermann Carl (1841-1907), 58, 131,
 134, 135, 137-140, 142-145, 147, 148, 150-
 153, 205, 222, 240

W

Wanschaff, 130, 151
 Weimer, T., 196, 209
 Wilhelm Förster (1832-1921), 131, 147, 149
 Worley, Charles E. (1935-1997), 184, 207

Z

Zach, Franz Xaver von (1754-1832), 137
 Zöllner, Karl Friedrich (1834-1882), 131