

Les travaux de Jean-Dominique Cassini

Jean-Dominique Cassini est avant tout connu pour ses nombreux travaux d'astronomie, dont on peut affirmer qu'ils ont participé à l'entrée de la science astronomique française dans l'ère de la science moderne. Commencés en Italie, ces travaux concernent pratiquement l'ensemble des domaines de l'astronomie théorique et expérimentale.

Les travaux d'astronomie

Les comètes

Comme tous les astronomes de son temps, Cassini s'est intéressé aux comètes. Les comètes et la forme de leur orbite avaient en effet une grande importance dans la controverse entre la dynamique de Descartes et Leibniz et celle de Newton. On pouvait penser que les planètes étaient apportées par les tourbillons mais il était très difficile de mettre les orbites des comètes en accord avec cette hypothèse.

En essayant – en vain – de mesurer la distance de la comète visible à Bologne en 1652, avec un nouvel instrument qu'il a mis au point, Cassini démontre qu'elle est beaucoup plus distante de la Terre que la Lune : les comètes ne sont donc pas des exhalaisons de l'atmosphère terrestre comme le voulait la tradition aristotélicienne mais bien des corps célestes se mouvant parmi les planètes. Mieux, il réussit à prédire la course de certaines d'entre elles, notamment quand il observe la comète de 1664 avec la reine Christine de Suède à Rome ou celle de 1680 en présence de toute la Cour à Paris.

Cassini remarque aussi qu'il a vu trois comètes dans la même région du ciel à un même intervalle de 12 ans. Après avoir observé la comète de 1682, il expose à Edmond Halley, de passage à Paris, l'idée que certaines comètes reviennent périodiquement près du Soleil après un séjour à grande distance. Halley l'exploitera en prédisant l'année du retour de la comète de 1682 qui prendra son nom.

Ce retour a effectivement été observé en 1758, assurant le triomphe définitif de la mécanique de Newton qui avait été utilisée pour le prédire.

La lumière zodiacale

Cassini est aussi le premier à se pencher scientifiquement sur un phénomène mentionné par divers textes islamiques médiévaux sous le nom de « faux crépuscule ». Au printemps 1683, il observe en effet dans le ciel nocturne un halo de lumière qui s'étend autour du Soleil de part et d'autre du plan de l'écliptique (ou Zodiaque). La « lumière zodiacale » constitue dès lors pour lui un objet régulier d'observation. Il suppose que ce phénomène est lié à l'existence d'une « nébuleuse » autour du Soleil.

L'astronome suisse Nicolas Fatio de Duillier (1664-1753) écrit à Cassini de Genève, en 1684, au sujet d'un « phénomène lumineux qui nous parut à Paris au commencement du printemps 1683, poursuivant à présent il en paraît ici un entièrement semblable et à peu près dans le même endroit du ciel. » Il s'agit de la lumière zodiacale pour laquelle, en 1683, Cassini a fourni l'explication et auquel, dans une lettre postérieure, Duilliers rend hommage : « Votre hypothèse, Monsieur [...] est très ingénieuse, et paraît d'autant plus conforme à la Physique que vous faites sortir de l'équateur du Soleil la matière qui en doit être le sujet.... ». Nicolas Fatio de Duilliers donne l'explication définitive de ce phénomène céleste en 1684, en montrant que la lumière zodiacale est produite par des poussières interplanétaires qui diffusent la lumière du Soleil.

La carte de la Lune

Cassini s'intéresse également à la Lune et tente d'en dresser une carte. Depuis longtemps en effet, cartographier la Lune a fait partie du travail des astronomes. Tant que l'observation se faisait à l'œil nu, seules les tâches étaient dessinées. Avec l'invention de la lunette, puis du télescope, la découverte des montagnes, des cratères ou criques, des failles et d'autres accidents topographiques a permis de choisir un système de coordonnées.

Les cartes de la Lune avant celle de Cassini

L'observation en 1609, par Galilée et ses contemporains, de la surface de la Lune à l'aide des premières lunettes a mis en évidence la présence de montagnes associées aux régions claires de la Lune. Galilée remarque ainsi que la surface de la Lune est irrégulière, contrairement à ce qu'affirmait la tradition aristotélicienne, selon laquelle les astres sont des sphères parfaites. Il découvre que les montagnes lunaires forment des anneaux enserrant des cuvettes profondes. Autrement dit, il observe les cratères lunaires. Il constate l'existence de

points lumineux isolés dans la partie sombre près du terminateur, et en déduit que ce sont des hauts sommets éclairés par le Soleil, alors que leurs bases sont encore dans l'obscurité.

Les premiers dessins de la Lune à partir de ces observations datent de cette époque et sont dus aussi bien à Galilée qu'à Harriot. Ils ne constituent qu'un progrès mineur par rapport à des dessins déjà réalisés à partir d'observations à l'œil nu, comme ceux de Léonard de Vinci, réalisés en 1505 et en 1513. Les premières cartes détaillées de la Lune datent du milieu du XVII^e siècle. La première description systématique de la surface de la Lune est donnée par Hevelius dans sa *Sélénographie*, parue en 1647. Au moment de la publication de cet ouvrage, Peiresc et Gassendi, qui avaient eux aussi entrepris l'élaboration d'une carte de la Lune, renoncent à achever leur travail. Un seul feuillet de leur carte est publié. En 1651, le père Riccioli publie une carte de la Lune, *Almagestum novum*, dans laquelle les configurations lunaires portent une nouvelle nomenclature et qui porte en tête cette citation : « Il n'y a pas d'hommes dans la Lune; les âmes n'y émigrent pas non plus ».

La carte de la Lune de Jean-Dominique Cassini

Entre 1671 et 1679, Cassini se livre à son tour à une série d'observations de la Lune grâce à une lunette de 34 pieds fabriquée par Campani et conservée à l'Observatoire de Paris. Il s'adjoint les services de deux dessinateurs professionnels, Leclerc et Pattigny, pour reporter ses observations sur le papier. Ils effectuent une série de dessins préparatoires ne représentant que ce qu'on voit à la frontière, nommé terminateur, entre la zone éclairée et la zone d'ombre de la Lune en quartiers, là où le contraste est le meilleur. En effet, à la pleine Lune, quand la lumière éclaire le satellite de face, elle écrase toutes les aspérités. La carte a donc été élaborée morceau par morceau à partir des observations de la Lune à différentes phases de son cycle.

Le 12 février 1679, Cassini présente sa carte de la Lune à l'Académie³³. Sur cette gravure de 53 cm de diamètre, les accidents lunaires, portant pour la plupart les noms attribués par Riccioli³⁴, sont mal placés mais la carte de Cassini présente beaucoup plus de

³³ La lunette astronomique renverse les images, ce qui fait que les cartes de la Lune réalisées par des astronomes, comme celle de Cassini, représentent la Lune avec le Nord en bas.

³⁴ Dès le début de l'observation instrumentale, on ressentit le besoin de donner des noms aux principales formations de la surface lunaire. Déjà, Laugrenus en 1645 avait proposé des noms comme « le détroit catholique », « le cirque de Philippe IV », « la mer de Mazarin », etc. Ce sont les dénominations du jésuite Riccioli (1598-1671) qui, avec le père Francesco Grimaldi, étudie les accidents du relief lunaire et leur attribue des noms comme mers du Sommeil, des Songes, de la Fécondité, ou de la Sérénité, terres de la Santé, de la Chaleur, ou de la Sécheresse, monts Tycho, Copernic, Kepler, Archimède, Platon, ou Aristote, ou Ste-Catherine, St-Cyrille et St-Théophile, qui ont prévalu jusqu'à aujourd'hui.

détails que toutes ses devancières et ces détails sont plus exactement dessinés. Ainsi, elle reste sans rivale jusqu'à l'apparition de la photographie. Cette carte connaît un grand succès et est rapidement épuisée. Elle est rééditée à une petite échelle, accompagnée de commentaires explicatifs, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences* en 1692.

La « Dame dans la Lune »

La carte comporte un grand cœur gravé dans la mer de Sérénité et un visage féminin dessiné en lieu et place du promontoire des Héraclides, qu'on ne retrouve pas si on observe ces régions lunaires à la lunette. En outre, sur la carte, la Lune a été tournée d'environ 30 degrés dans le sens des aiguilles d'une montre par rapport à ce que l'on observe à la lunette, probablement pour redresser le visage et ainsi mieux le mettre en valeur. On peut émettre plusieurs hypothèses au sujet de ces « anomalies ».

Cassini pourrait avoir décidé de rendre un hommage indirect au Roi-Soleil qui l'a fait venir en France et lui a accordé la nationalité française en dédiant sa carte à la reine Marie-Thérèse d'Autriche (1638-1683). Cependant, si l'on examine attentivement le visage de la « dame de la Lune », on s'aperçoit qu'il présente une ressemblance frappante avec le portrait de la femme de Cassini, Geneviève de Laistre, qu'il avait épousée par amour autant que pour se trouver apparenté à une famille noble et proche de la cour, en 1673³⁵. Il semble donc plus probable qu'il s'agisse d'une déclaration d'amour de Cassini à sa femme, qu'il qualifie dans une de ses lettres de « femme selon mon cœur ».

Les lois de Cassini

Ses observations ont permis à Cassini de former en 1693 une théorie sur le mouvement de la Lune, à laquelle Félix Tisserand (1845-1896), directeur de l'Observatoire, donne le nom de « lois de Cassini » à la fin du XIX^e siècle. En effet, depuis l'Antiquité, on observe à l'œil nu les mêmes taches sombres à la surface de la Lune. Cassini, lors de ses observations, constate que périodiquement, de nouvelles structures apparaissent à la périphérie du disque lunaire. Cette variation est due à un balancement qui a reçu le nom de libration et que Cassini a décomposé en trois mouvements : libration en longitude, libration en latitude et libration

³⁵ Ce portrait, réalisé en même temps qu'un autre de Jean-Dominique Cassini en 1678, est d'ailleurs l'œuvre de Jean-Baptiste Pattigny, le fils du graveur de la carte de la Lune, alors âgé de 11 ans. Ces deux portraits furent donnés au conseil municipal de Clermont-en-Beauvaisis par Cassini IV en 1844 et se trouvent habituellement dans la salle des mariages de l'Hôtel de ville. Ils sont tous deux présentés à l'exposition.

diurne (voir glossaire). Les trois lois de Cassini sur le mouvement de la Lune peuvent se résumer ainsi :

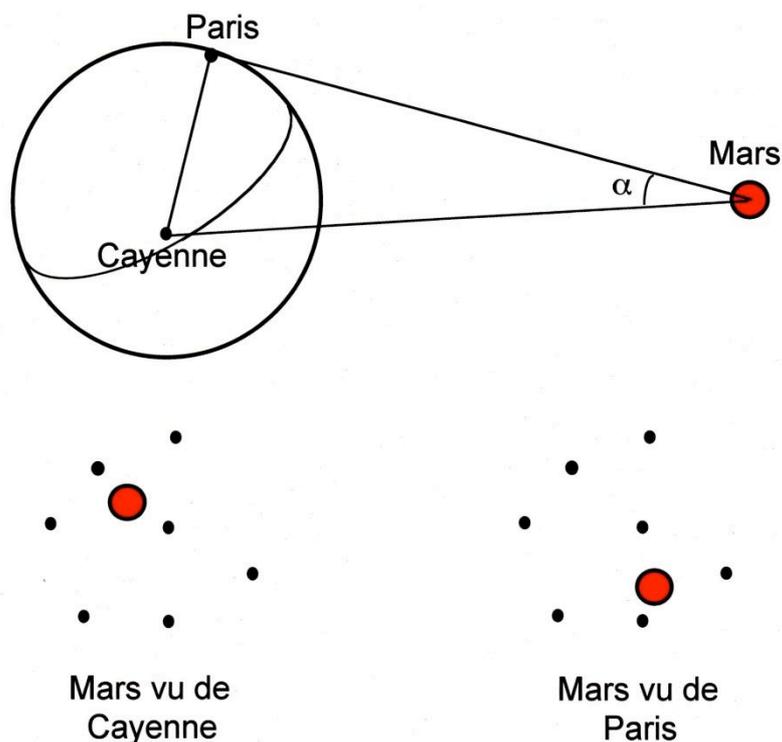
- 1- La Lune tourne sur elle-même dans le sens direct, d'un mouvement uniforme autour d'un axe dont les pôles sont fixes. La durée de cette rotation est égale à la révolution sidérale de la Lune (27 jours 7 heures 43 min et 12 secondes)
- 2- L'équateur lunaire fait un angle constant avec l'écliptique : $1^{\circ}31'$
- 3- Le nœud ascendant de l'équateur lunaire coïncide avec le nœud descendant de l'orbite.

La distance de la Terre au Soleil

Quelle est la distance de la Terre au Soleil ? Cassini va d'abord tenter de répondre à cette question en évaluant la distance de Mars lorsque cette planète est au plus proche de la Terre.

Il envoie son collaborateur Jean Richer (1630-1696) à Cayenne, en Guyane, où il séjourne en 1672 et 1673. Richer y mesure la position de Mars par rapport aux étoiles, tandis que Cassini et Jean Picard (1620-1682) font de même à Paris. De la différence entre ces positions, due au fait que le point de vue n'est pas le même dans les deux lieux, et connaissant la distance de Paris à Cayenne, ils déduisent la distance de Mars à la Terre, ce qui permet de calculer le rayon de l'orbite de Mars. En appliquant la troisième loi de Kepler, qui dit que le cube de ce rayon est proportionnel au carré de la période de révolution d'une planète autour du Soleil, Cassini obtient le rayon de l'orbite terrestre, soit 138 millions de kilomètres (en unités modernes), la valeur actuelle étant de 149,6 millions de kilomètres. En Angleterre, John Flamsteed (1646-1719) obtient indépendamment un résultat concordant avec celui de Cassini. C'est la première fois que l'on mesure cette valeur, que l'on pensait être vingt fois plus petite.

Cassini comme Flamsteed savent cependant que la mesure, avec les instruments de l'époque, est difficile et les résultats incertains.



Vue de Paris ou de Cayenne au même instant, la position de Mars par rapport aux étoiles est légèrement différente : c'est le phénomène de parallaxe. Connaissant la distance entre Paris et Cayenne et l'angle α , qui est égal à la différence entre ces deux positions, on peut calculer la distance de Mars à la Terre, puis le rayon de son orbite autour du Soleil.

Cassini et les planètes

En 1610, Galilée découvre les quatre gros satellites de Jupiter grâce aux premières lunettes astronomiques. Ces quatre satellites de Jupiter s'avèrent d'un grand intérêt : leurs éclipses fréquentes (tous les 2, 4, 8 et 16 jours environ) et facilement observables ce qui en fait des références de temps universelles. Christiaan Huygens, ayant perfectionné ces lunettes, découvre en 1655 Titan, le principal satellite de Saturne, puis montre que cette planète est entourée d'un anneau.

Cassini, dont l'acuité visuelle est exceptionnelle et qui utilise les excellentes lentilles construites par Campani à Rome, va faire encore mieux. A Bologne, il observe systématiquement les satellites de Jupiter dont il étudie le mouvement et prévoit les éclipses dans l'ombre de la planète. Il établit, à partir des observations de Galilée, Peiresc et Gassendi, les *Ephemerides Bononienses mediceorum siderum*, tables du mouvement des satellites de Jupiter, publiées en 1668, qui permettent pour la première fois d'obtenir de bonnes longitudes en France et dans toute l'Europe et lui valent une renommée européenne qui lui attire les

faveurs de Colbert et une invitation à l'Académie des sciences. A partir de 1668, l'observation des satellites de Jupiter est systématisée à l'Observatoire de Paris, pour parfaire la détermination des longitudes, jusque-là établies principalement grâce aux éclipses de Lune, développer l'astronomie géodésique et la cartographie. Cassini publie en 1693 de nouvelles tables du mouvement des satellites de Jupiter, qui corrigent les erreurs des précédentes.

Dès son arrivée à Paris en 1671, Cassini découvre un deuxième satellite de Saturne, puis un troisième l'année suivante. Six ans après, l'anneau de Saturne se présentant largement ouvert, Cassini découvre qu'il est divisé par une zone sombre : c'est la division à laquelle on a donné son nom. En 1684, il observe deux satellites supplémentaires de la planète.

Ce n'est pas tout : Cassini observe sur Saturne des bandes semblables à celles de Jupiter, et mesure, en suivant le déplacement au cours du temps de taches sur leur surface, la période de rotation de Mars et, pour la première fois, celle de Jupiter.

Au XVII^e siècle, on l'a vu, la géodésie et la cartographie ont partie liée avec l'astronomie, qui constitue l'un des domaines privilégiés de Jean-Dominique Cassini, surtout connu pour ses travaux d'astronomie, en particulier la découverte de la division de l'anneau de Saturne qui porte aujourd'hui son nom et ses observations des satellites de Jupiter.

Géodésie et cartographie

La cartographie de la France avant Cassini

Le besoin d'une carte précise du Royaume de France se fait sentir dès le XVI^e siècle. Le roi veut en effet asseoir les divisions administratives complexes de l'Ancien Régime, saisir la situation économique du pays et envisager le développement d'un réseau routier. Les premières cartes de France, manuscrites ou imprimées, ne faisaient que reprendre les coordonnées de Ptolémée. En 1525, Oronce Fine réalise la première carte de France au 1/200 000 dans son ouvrage *Description de toute la Gaule* et en 1594 paraît le premier atlas de la France sous le titre de *Théâtre françois*. A la demande de Richelieu, Nicolas Sanson réalise en 1643 une carte de France en 30 feuillets, qui est aujourd'hui perdue. Sanson voulait compléter son travail par 250 cartes particulières, projet qui s'avéra trop coûteux pour que Richelieu accepte de le financer. Sanson parvint toutefois à le faire soutenir par l'Eglise, qui ne lui octroya cependant que chichement les sommes et les renseignements nécessaires pour la réalisation de ces cartes. Sanson, puis ses héritiers, ne parvinrent à réaliser que la moitié des cartes prévues.

Colbert et les premiers travaux de l'Académie des sciences

Le besoin de cartes exactes se fait plus pressant au XVII^e siècle. Colbert a marqué dès 1663 son désir d'améliorer les cartes du royaume : Il est persuadé que de meilleures cartes permettraient de réformer une administration trop complexe et de faciliter les échanges commerciaux à travers toute la France. Mais les cartographes de l'époque sont les militaires, qui limitent de fait leur travail aux zones stratégiques, en général les frontières et les cartes. En outre, ces cartes restent imprécises, faute d'une méthode suffisamment fiable pour déterminer les coordonnées géographiques. A tel point qu'Auzout, en 1665, dans la dédicace au roi de ses *Ephémérides de la comète de 1664*, peut affirmer qu'« *il n'y a pas un Royaume dans l'Europe dont les Cartes Géographiques soient si fautives, et où la situation des lieux soit si incertaine*³⁶ ».

Pour coordonner et améliorer le travail entrepris jusqu'alors, Colbert décide de confier l'entreprise de cartographie de la France à l'Académie des sciences, qu'il a créée en 1666. Porte-parole de Colbert, Carcavi annonce le 23 mai 1668 que le premier ministre « *désiroit que l'on travaillast à faire des cartes géographiques de la France plus exactes que celles qui ont été faites jusqu'icy, et que la compagnie prescrivist la manière dont se serviroient ceux qui seront employez à ce dessein*³⁷ ».

En 1610, Galilée avait découvert l'existence des satellites de Jupiter et avait tout de suite mesuré l'utilité qu'ils pouvaient avoir pour la géographie et la cartographie. En effet, Io, le satellite le plus proche de Jupiter, a une révolution de 42 heures. Comme Jupiter est très gros, Io entre dans l'ombre de la planète à chaque révolution, et immersion et émergence sont mesurables à trois minutes près. Toutefois, c'est Cassini, quand il publie en 1668, alors qu'il se trouve encore à Bologne, les *Ephemerides Bononienses medicorum siderum*, table des mouvements des satellites de Jupiter, qui permet à cette méthode de prendre son essor.

Au même moment, la méthode de la triangulation, qui permet, d'une base de départ mesurée sur le terrain et complétée par des mesures d'angles à partir de points visibles les uns des autres, de calculer la longueur des côtés du triangle et donc les positions relatives de

³⁶ *Ephémérides de la comète de la fin de l'année 1664 et du commencement de l'année 1665, dédiée au Roy par M. Auzout*, Paris 1665.

³⁷ M. PELLETIER, *Cartographie de la France et du monde de la Renaissance au Siècle des Lumières*, Paris 2001.

plusieurs points, est validée. Cette méthode, déjà appliquée par le hollandais Snellius, était connue depuis longtemps, mais n'avait été appliquée que sur des régions peu étendues³⁸.

Elle est utilisée par l'abbé Picard pour une première mesure, entre 1668 et 1670, du degré du méridien aux environs de Paris, sur une ligne allant de Sourdon en Picardie à Malvoisine aux confins du Gâtinais et de l'Hurepoix. Picard livre ses méthodes dans *La Mesure de la Terre*, publié entre 1671 et 1676, qui relate ces travaux et dont le chapitre 9, intitulé « la triangulation », expose les principes mathématiques qui sous-tendent son travail.

Ces mêmes méthodes servent à dresser une carte test, publiée en 1678, la *Carte particulière des environs de Paris*, qui comprend la région de Paris, de Mantes à la Ferté-sous-Jouarre et de Pont-Sainte-Maxence à Milly-en-Gâtinais et qui servira de prototype à la *Carte de France* de Cassini. Ces procédés, grâce à des levées effectuées en Bretagne, dans le Poitou, en Aunis et en Saintonge en 1675-1676, permettent également, combinées à la détermination astronomique des coordonnées des ports français grâce à des mesures conjointes de Cassini à Paris et de Picard et La Hire sur place, de publier en 1693 des cartes maritimes corrigées sous le titre de *Neptune françois*, précieuses pour développer la flotte française et combattre la puissance navale de l'Angleterre.

C'est également en utilisant ces techniques que La Hire publie en 1693 la *Carte de France corrigée par ordre du Roy*, fondée sur les déterminations astronomiques que Cassini, Picard et La Hire effectuèrent en de nombreux lieux et notamment, entre 1676 et 1681, en Bretagne, en Gascogne et en Normandie. Elle porte en surimpression la meilleure des cartes antérieures, celle dressée par Sanson, ce qui met en évidence des modifications considérables. Ainsi l'écart de longitude entre Paris et Brest, obtenu par observations d'éclipses de satellites de Jupiter, s'abaisse à 6°54' au lieu de 8°10'. La surface du royaume se trouve alors réduite d'un cinquième. Cette carte ne mesure en effet que 25 386 lieues carrées alors que celle de Sanson en comptait 31 657. En l'apprenant, Louis XIV se serait plu à dire que le voyage de

³⁸ Willebrord Snell ou Snellius est né en 1580 à Leyde, où il est mort en 1626. A partir de 1615, il travailla à la détermination de la longueur du degré de méridien par la méthode de la triangulation, dont l'emploi en géodésie avait été étudié par Gemma Frisius en 1533. Ainsi, avec un réseau de triangles, il calcula la distance entre Alkmaar et Bergen. La valeur du méridien qu'il trouva est médiocre du fait de la trop courte valeur de ses bases et de l'imprécision de ses appareils et Picard perfectionna beaucoup sa méthode avant de l'utiliser.

Picard et La Hire ne lui avait causé que de la perte et qu'il était mal récompensé de la sollicitude qu'il portait à ses astronomes³⁹.

En 1681, Picard soumet à Colbert un projet de cartographie générale de la France : il propose d'établir un « châssis général » du royaume formé par treize triangles. Après la mort de Picard en 1682, Cassini reprend la direction du projet qui a été confié à l'Observatoire de Paris. Il commence à prendre, avec Philippe de La Hire (1640-1718), des mesures pour prolonger la méridienne de Paris jusqu'aux « extrémités du Royaume », c'est-à-dire de Dunkerque à Perpignan, mais ces travaux sont interrompus par la mort de Colbert et l'arrivée au pouvoir de Louvois en 1684. En effet, les priorités du nouveau ministre sont tout autres : il entend réaliser des opérations de nivellement pour assurer l'alimentation en eau de Versailles et de ses bassins.

Les travaux de mesure sont repris en direction du sud en 1700 et terminés à Collioure l'année suivante. Mais commence alors la guerre de succession d'Espagne qui vide les caisses de l'Etat et contraint une fois de plus l'Académie à suspendre les travaux. Les mesures vers le Nord ne seront complétées qu'en 1718 par le fils de Jean-Dominique Cassini, Jacques Cassini, son cousin, Jacques Maraldi, et La Hire. Cassini II présente ses conclusions dans un mémoire en 1720.

La carte de France de Cassini III et IV

En 1730, Philippe Orry devient contrôleur général des finances. Tout en travaillant au rétablissement des finances du pays, mises à mal par des années de guerre, il conçoit la nécessité d'avoir des cartes exactes pour construire de nouveaux chemins et canaux, afin de faciliter le commerce entre les provinces et d'améliorer ainsi l'économie du Royaume. C'est dans ce contexte favorable que Jacques Cassini (Cassini II) et son fils César-François (Cassini de Thury ou Cassini III), sont invités à reprendre les opérations de triangulation de la France. Ils reprennent le projet de Picard et commencent une triangulation de la perpendiculaire à la méridienne, Saint-Malo-Paris-Strasbourg. Le 1^{er} juin 1733, Jacques Cassini et ses collaborateurs partent en direction de l'ouest. Ils terminent à Granville et constatent que « *la France se trouve encore rétrécie de ce côté-là* ».

³⁹ B. de FONTENELLE, « Eloge de Philippe de La Hire », *Histoire de l'Académie royale des sciences, année 1718*, Paris 1718, p. 6-7.

Les opérations deviennent régulières, la priorité étant donnée à la triangulation des côtes, et s'achèvent le long de l'océan en 1737. L'année suivante les savants s'attaquent à la ligne Bayonne-Antibes. La même année, on constate que les résultats de la méridienne sont incompatibles avec la forme de la Terre, telle qu'elle se déduisait des travaux de Maupertuis en Laponie et des calculs théoriques de Newton et Clairaut et qu'il est donc nécessaire de revoir le travail de Picard. C'est pourquoi en 1739 Cassini de Thury repart vers le sud et Jacques Cassini et l'abbé de La Caille vers le nord. Le canevas géométrique est achevé en 1744.

Au cours de la campagne de Flandre, théâtre principal de la guerre de succession d'Autriche, Louis XV demande à Cassini III de lever le plan du pays occupé par les armées. Pour le géographe, c'est l'occasion d'étendre hors des frontières le canevas de la France. La carte détaillée que Cassini présente au Roi l'émerveille tellement qu'il demande qu'on entreprenne la carte détaillée du Royaume que ce prince, qui devait comprendre 82 feuilles. C'est une entreprise gigantesque dans laquelle se lance Cassini de Thury : il faut d'une part compléter les travaux de triangulation qui avaient omis de vastes zones, comme la vallée de la Seine, et d'autre part établir un relevé exact de tous les objets dont la connaissance pourrait être de quelque utilité.

Le travail avance lentement, trop lentement au goût du roi. En 1756, en présentant sa carte au souverain, il apprend que sa mission est annulée faute d'argent. Cassini fonde donc, le 1^{er} août 1756, une association de cinquante membres, qui donnent 1600 livres par personne et par an, pour financer son œuvre. En 1762, la situation financière de l'association se détériore. Le roi autorise la conclusion de traités avec les différentes provinces et généralités qui s'engagent à financer une partie des travaux nécessaires à l'établissement de la carte dans leur région. Ces accords, mis en œuvre à partir de 1764, soulagent la trésorerie de l'association, mais ils permettent aux provinces de contrôler le travail des ingénieurs et de publier ainsi des cartes qui sont de redoutables concurrentes pour celles de Cassini. En dépit de ces nombreux problèmes de financement, à la mort de Cassini III en 1784, il ne restait plus que deux feuilles de la Bretagne à terminer. C'est son fils qui achève la carte de France et la présente à l'Assemblée constituante en 1790.

La carte des Cassini, issue d'une entreprise initiée par Picard et Cassini I et menée à son terme par ses descendants et successeurs, marque un double progrès dans l'histoire de la cartographie française : elle est fondée sur le positionnement d'un nombre suffisant de points

pour être la première carte de base du royaume et elle s'appuie sur un recensement toponymique qui est la première entreprise d'envergure menée en France⁴⁰.

L'ensemble des travaux, extrêmement variés, que Jean-Dominique Cassini a mené à l'Observatoire de Paris, doit beaucoup aux instruments nouveaux, adaptés à l'astronomie moderne en cours d'émergence, et à l'utilisation habile qu'en fait l'astronome. L'instrumentation dont il dispose à l'Observatoire de Paris lui permet en effet de faire des découvertes qui marqueront son époque.

Les instruments de Cassini à l'Observatoire de Paris

Lentilles, objectifs et lunettes

Jean-Dominique Cassini est en effet un observateur d'une grande habileté. Il possède sans doute une acuité visuelle exceptionnelle et manie les instruments dont il dispose avec beaucoup de dextérité. Il est également très attentif à la qualité des instruments qu'il possède : ainsi en 1664, alors qu'il est encore en Italie, deux opticiens, Campani et Divini, lui offrent des objectifs d'excellente qualité. Très précis pour l'époque, ces objectifs lui permettent de distinguer l'ombre des satellites de Jupiter sur cette planète.

Il apporte de Rome un objectif de 17 pieds. C'est sans doute avec celui-là qu'il a découvert Japet le 29 octobre 1671. On sait en effet qu'il l'utilisa lors de ses toutes premières observations en France, à Ville-l'Evêque, pour prédire le retour de taches du Soleil et que Colbert en fut si impressionné qu'il ordonna à Cassini de commander une autre lentille de 34 pieds de longueur focale. Celle-ci arriva à l'Observatoire en 1672, soit un an après le début des observations de Cassini à l'Observatoire, et lui permit de découvrir un nouveau satellite de Saturne, Rhéa, le 30 décembre de la même année⁴¹. Il souhaite équiper l'Observatoire de nombreux instruments de mesure, comme le précise un mémoire sans date que Charles Wolf place en 1682. L'ensemble des achats commandités par le Roi et le prix des objectifs, sont donnés dans les *Comptes des Bâtiments du Roi*.

La détermination des positions des astres requiert des instruments d'une grande stabilité permettant de déterminer, avec précision, des distances angulaires et de noter des

⁴⁰ M. PELLETIER, *Les Cartes des Cassini. La science au service de l'Etat et des régions*, Villeurbanne 2002, p. 11.

⁴¹ Inv. 40.

temps de passage. Ces instruments, de petite dimension à la fin du XVII^e et au début du XVIII^e siècle, sont portables afin de faciliter leur déplacement ou fixés à des murs à l'Observatoire. Pour déterminer les diamètres des objets du système solaire, les astronomes possédaient des petites lunettes par lesquelles on voyait l'objet en entier, y compris la Lune et le Soleil. Les mesures s'effectuaient grâce à des micromètres du type de celui mis au point en 1666 par Auzout et Picard.

Pour les observations mettant en jeu les caractères physiques des planètes, les instruments devaient avoir de forts grossissements. A l'époque, avec les objectifs à lentilles simples, pour augmenter le grossissement, les opticiens ne savent qu'augmenter les longueurs focales. Dans la littérature de l'époque, on trouve des mentions d'objectifs de longueur focale de 22 pieds, 34 pieds, 87 et même 136 pieds. Pour les longueurs focales relativement courtes, les tubes des lunettes étaient suspendus à des mâts équipés de poulies et de systèmes de rappel permettant de les orienter dans la direction de l'astre à observer. Pour les grandes longueurs focales, il fallait trouver d'autres solutions.

Pour se servir des objectifs de grande longueur focale, Cassini et Huygens utilisent deux techniques différentes. Huygens imagine de suspendre l'objectif à un mât et de matérialiser le trajet objectif-oculaire par un câble. L'astronome s'appuie sur une sorte de support qui lui permet de bloquer assez convenablement l'oculaire.

Cassini, de son côté, place les objectifs soit sur la terrasse supérieure de l'Observatoire, soit sur une tour en bois amenée de Marly où elle avait servi à élever les eaux pour alimenter Versailles. Cassini, oculaire en main, se déplaçait dans la cour nord de l'Observatoire. A ces lentilles simples, les astronomes associent des oculaires dont la longueur focale allait de 2 cm jusqu'à 8 cm. En étudiant un mémoire d'Auzout, Wolf a pu donner une idée des grossissements obtenus par Cassini : les lunettes de 30 à 35 pieds associées à un oculaire de 3 pouces donnaient un grossissement de 120 à 140. Avec une lunette de 150 pieds, le grossissement pouvait atteindre 600.

On dit que Huygens et Cassini étaient pratiquement les deux seuls astronomes de leur temps qui aient su utiliser, avec efficacité, ces objectifs et ces méthodes d'observation qui requièrent une exceptionnelle habileté. Très peu d'astronomes seront capables du même exploit et l'usage des lunettes sans tuyau se perdra vite. L'observation physique des astres sommeillera donc jusqu'à l'amélioration de la qualité des optiques qui, à la fin du XVIII^e siècle, permettra d'obtenir, à grossissement équivalent, des lunettes plus courtes. En effet, à la

lecture des journaux d'observation aussi bien qu'à l'examen des correspondances échangées entre les astronomes, on constate, tant à propos des taches du soleil que de la forme des anneaux de Saturne ou de la tache de Jupiter, que la recherche de nouveaux phénomènes célestes laisse progressivement place à l'étude approfondie des phénomènes déjà connus.

Les instruments de mesure géodésique

En ce qui concerne la géodésie, Picard donne dans la *Mesure de la terre*, parue en 1671, la liste des instruments nécessaires à la réalisation de mesures géodésiques de précision et en donne la description, le mode d'emploi et les principes de contrôle, qu'il a lui-même établis et qui seront désormais à la base des travaux d'astrométrie.

Pour la triangulation, Picard emploie des instruments qu'il conçoit lui-même. Son instrument principal de mesure angulaire est un quart-de-cercle à deux lunettes, dont l'une est fixe et l'autre mobile, à micromètre, monté horizontalement, dont le limbe a 38 pouces (102 cm) de rayon. Mais un tel instrument est très encombrant et peu pratique à utiliser pour trianguler puisque les sommets des triangles sont des tours, des clochers ou des moulins, en haut desquels il faut transporter les instruments. On utilisait donc des quarts-de-cercle plus petits, mais moins précis, puisque la précision est proportionnelle à la taille. Pour la détermination astronomique des latitudes, il fit réaliser un secteur astronomique de 10 pieds (325 cm) de rayon, de court angle au centre (18°), où une lunette de grande focale tourne dans un plan vertical. Un fil à plomb permet de déterminer la verticale. Pour les longueurs, il utilise la toise du Châtelet, formée d'une règle de fer terminée par deux ergots et scellée dans le mur du Châtelet à Paris, qu'il vient de faire restaurer⁴².

En 1667, Picard et Auzout construisent le premier quart-de-cercle muni d'une lunette, celle-ci étant pourvue d'un micromètre, inventé à cette occasion et dont les principes sont ceux des micromètres qui équipent aujourd'hui les instruments d'optique. On peut désormais mesurer les hauteurs des astres, et les latitudes, à quelques secondes de degré près.

Les astronomes de l'Observatoire disposent bientôt de bons quarts-de-cercle (ou de sextants) soigneusement contrôlés. A l'aide de pendules marquant la seconde ou même la

⁴² M. PELLETIER, *Cartographie de la France et du monde de la Renaissance au Siècle des Lumières*, Paris 2001.

demi-seconde, et «tenant la seconde» en 24 heures, ils peuvent désormais observer le temps des passages des astres, notamment dans le plan méridien.

On l'a vu, pour les instruments de mesure géodésiques comme pour les instruments d'astrométrie, la mesure du temps est essentielle et il est déterminant de disposer d'horloges de grande précision. A l'Observatoire Royal, Cassini et ses collègues disposent, grâce à Huygens⁴³, des horloges les plus précises du moment que l'horloger Isaac Thuret sait fabriquer à Paris, et aussi du micromètre à fil mobile qu'ils doivent, depuis 1666, à Auzout et à Picard.

Toutefois, de ces instruments commandés ou utilisés par Cassini I après son installation à l'Observatoire de Paris, il ne reste pratiquement rien. A une exception près cependant, celle constituée par une série de lentilles italiennes dont deux sont signées Campani. En revanche, le quart-de-cercle commandé par Cassini pour faire à Paris des observations symétriques à celle que Picard faisait à Uraniborg a totalement disparu, de même que les autres instruments que l'Observatoire abritait à l'époque.

Les nombreux travaux de Jean-Dominique Cassini ont été menés en collaboration avec les astronomes de l'Observatoire et les savants de l'Académie des sciences ainsi qu'avec ses fils et neveux. Ce savant italien a su faire de l'Observatoire royal de Paris un centre de l'Europe savante de son temps et établir un vaste réseau de coopération et d'échanges entre savants européens.

⁴³ Voir focus sur le pendule de Huygens en annexe, p. 70.