

Méchain géodésien

■ Suzanne DÉBARBAT

La création de la géodésie astronomique remonte à la fin du XVII^e siècle, quand Picard entreprend la mesure d'un arc de méridien, de part et d'autre de l'Observatoire de Paris. Il applique une méthode de triangulation, inspirée de Snel, et en crée l'instrumentation. La méthode sera mise en œuvre tout au long du XVIII^e siècle, avec des instruments peu différents mais d'une meilleure fabrication. Une première Méridienne de France est établie entre 1683 et 1718, suivie d'une deuxième en 1739-1740 sur laquelle s'appuiera la carte générale de la France, la première, au niveau d'un pays, établie scientifiquement. Une prolongation, par Méchain, Legendre et Cassini est constituée par le raccordement, en 1787, des méridiens de Paris et de Greenwich. Méchain se trouve tout désigné pour une troisième opération, qu'il mène avec Delambre, en vue de la détermination de la longueur du Mètre (1799) du Système métrique décimal, décidé en 1790, devenu en 1960 le SI.

■ mots clés

Borda, Cassini, Delambre, Lacaille, Langlois, Lenoir, Legendre, Méchain, Cercle répétiteur, cercle de Borda, quart-de-cercle, méridien, méridienne, triangulation

L'année 2004 marque à la fois la parution du numéro 100 de la revue XYZ de l'AFT et le bicentenaire de la mort de l'astronome et géodésien Pierre-François-André Méchain, né à Laon le 16 août 1744 et décédé à Catellon de La Plana le 20 septembre 1804. Il effectuait alors son deuxième et dernier voyage en Espagne, dans le cadre de la suite de l'opération de géodésie astronomique qui, de 1792 à 1798, avait conduit, en collaboration avec Delambre (1749-1822), à la détermination de la longueur du mètre du Système métrique décimal de 1799. Cette opération, venant au moment de l'achèvement de la Carte générale de la France, résolvait le problème de l'unification des mesures, pendant depuis plusieurs siècles, et montrait l'efficacité de la méthode de triangulation mise au point un siècle plus tôt.

Prémices et instrumentation

Issue d'idées mises en œuvre aux Pays-Bas par Snel, ou Snellius (1580-1626), la première opération de triangulation scientifiquement menée en France est due à l'astronome Picard (1620-1682), membre de l'Académie des sciences



Portrait de Méchain (1744-1804) des Collections de l'Observatoire de Paris; il est représenté tenant, en main gauche, l'ouvrage "Base du Système..." publié (après sa mort) sous son nom et celui de Delambre.

dès sa création en 1666. Il détermine, de part et d'autre de l'Observatoire de Paris, le long du méridien fixé le 21 juin 1667, la longueur d'un arc de ce méridien. Picard choisit comme limite nord Sourdon (près d'Amiens), et comme



Portrait de Delambre (1749-1822) des Collections de l'Observatoire de Paris, également représenté avec "Base du Système..." Sa main droite tient un mètre ; un kilogramme est placé sur la table.

limite sud Malvoisine (près de la Ferté-Alais). Picard détermine successivement les angles des différents triangles, choisissant pour base une belle ligne droite, au profil peu accidenté, reliant Villejuif à Juvisy.

Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

■ ■ ■ Picard effectue la mesure de cette base grâce à des "bois de pique" d'une longueur de deux toises. Pour les déterminations géodésiques et astronomiques, il met au point trois instruments qu'il munit de lunettes et de micromètres :

- le quart-de-cercle mobile à deux lunettes, dont l'une est fixe, l'autre mobile, qui lui servira pour la mesure des angles de ses triangles,
- le secteur zénithal, dont le limbe ne dépasse pas dix-huit degrés, avec lequel il mène ses observations astronomiques pour la détermination de la latitude aux extrémités de sa triangulation,
- le niveau à lunette grâce auquel il tient compte des différences d'altitude entre les sommets de ses triangles.

Ces instruments seront utilisés pendant de nombreuses décennies. Le secteur de Bradley (1693-1762), troisième *Astronomer Royal* de l'Observatoire de Greenwich créé en 1675, inspiré de celui de Picard, conduira ce dernier à la découverte de deux phénomènes importants de l'astronomie, la nutation et l'aberration. Les corrections aux observations, que leur prise en compte entraîne, permettront d'améliorer les déterminations de caractère astronomique nécessaires aux mesures géodésiques. Le niveau sera l'instrument privilégié des topographes. Quant au quart-de-cercle, il sera encore employé par Méchain dans ses opérations géodésiques de la fin du XVIII^e siècle.

L'opération menée par Picard, en 1669-1670, est suivie, en 1681, d'une campagne de détermination des différences de longitude, entre les principaux ports des côtes de France et le Méridien de l'Observatoire de Paris ; cette campagne est menée de concert avec La Hire (1640-1718). Picard est alors conduit à proposer à Louis XIV d'étendre la mesure de la frontière nord à la frontière sud de la France. La cartographie, à laquelle songent le Roi et son ministre Colbert, disposerait de la référence nord-sud sur laquelle appuyer les opérations à entreprendre.

Picard meurt, en octobre 1682, avant d'avoir pu entreprendre l'opération projetée et acceptée.

Les opérations géodésiques des Cassini, de Maraldi et de Lacaille

Jean-Dominique-Cassini (1625-1712) est ce professeur d'astronomie de Bologne qui adresse à l'Académie des sciences, en 1668, ses tables permettant de prédire les éclipses des satellites de Jupiter. Les Académiciens français en constatent la qualité et suggèrent de l'inviter en France. Ces satellites sont les quatre découverts par Galilée (1564-1642) en 1609/10, et leurs éclipses, comme celles de Lune, permettent, lorsqu'ils passent dans le cône d'ombre de la planète, des déterminations de longitudes. Après avoir attiré à Paris le savant hollandais Huygens (1629-1695), lequel a su régulariser le mouvement des horloges par introduction d'un pendule régulateur, Louis XIV obtient que Cassini vienne se joindre aux autres membres de l'Académie.

Cassini arrive à Paris en 1669, s'installe à l'Observatoire – pas encore achevé – en 1671, et reprend le projet de Picard après son décès. Mais, en 1683, alors que la triangulation n'est parvenue qu'à Bourges, Colbert décède et son successeur, Louvois, l'arrête. Les mesures ne reprendront qu'après le décès de ce dernier, quand Pontchartrain lui succède. Cassini, qui a – dès 1673 – décidé de demeurer en France, s'y est marié et a eu un fils, Jacques, né en 1677 ; en 1700 celui-ci est en mesure d'accompagner son père. L'opération reprend en 1700-1701 au sud de la France, prolongeant la triangulation interrompue. Y participent donc Cassini I et son épouse, son fils Cassini II (1677-1756), son neveu Maraldi (1665-1729), fils de sa sœur demeurée dans leur ville natale de Périnaldo du Comté de Nice. La partie nord de la triangulation ne pourra être achevée avant 1718.

J.-D. Cassini étant décédé depuis 1712, c'est son fils qui rend compte de l'opération et des résultats auxquels elle a conduit : la longueur d'un degré de méridien diminue du sud au nord de l'hexagone, conduisant à une Terre allongée vers ses pôles. Cette conformité aux idées de Cassini I, confirmée par les mesures maintenant achevées, s'oppose aux conclusions de Newton (1643-1727) ; pour ce dernier, et compte

tenu de sa rotation, la Terre est aplatie en ses pôles. Cassini fils publie les résultats en 1720.

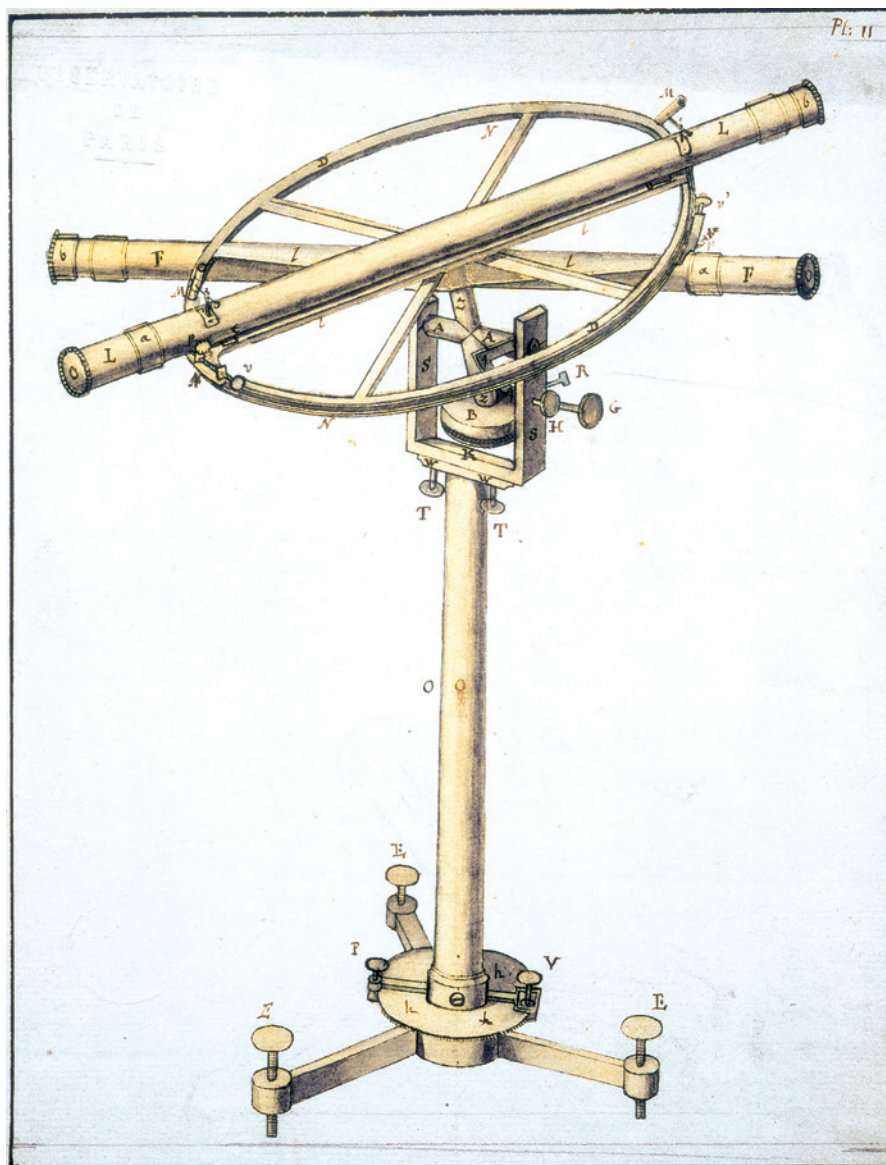
En 1737, Maupertuis (1698-1759) rentre d'une opération de triangulation au plus près du pôle nord, dont est tirée la longueur d'un degré de méridien. Cette valeur, comparée à celle de Picard à la latitude de Paris, conforte les partisans de Newton et conduit à de nouvelles mesures le long du Méridien de l'Observatoire, par le fils de Jacques, César-François. Le degré de Picard est d'abord contrôlé, puis Lacaille (1713-1762), Cassini III (1714-1784) et leurs collaborateurs entreprennent en 1739/40 une nouvelle mesure de la Méridienne de France. Ils disposent d'instruments nouvellement construits, bénéficiant d'une facture améliorée, même si leur type n'a guère changé. Leurs horloges sont aussi plus fiables. Cassini III sera l'auteur, en 1744, d'un nouvel ouvrage fournissant la longueur d'un degré de méridien déduite des mesures pour différentes latitudes. Cassini III est conduit à admettre que la Terre est bien aplatie en ses pôles.

A la première carte, établie par Picard et La Hire sur laquelle est représenté le Méridien de l'Observatoire de Paris, les astronomes, devenus pour partie géodésiens, viennent d'ajouter une référence scientifiquement établie sur laquelle Cassini III va pouvoir, en une cinquantaine d'années, ancrer la carte générale de la France. Celle-ci est achevée par son fils Jean-Dominique, Cassini IV (1748-1845), en 1790, après le décès de son père.

La Méridienne de France a été, pour ce faire, parcourue et mesurée une deuxième fois, dans une opération courte et menée par les mêmes opérateurs sur toute sa longueur.

Méchain et sa première expérience géodésique

Méchain, bon élève, entre à l'Ecole des Ponts et Chaussées à Paris, mais les moyens financiers de ses parents sont limités et il ne peut y achever ses études. Il a eu l'occasion de rencontrer Lalande (1732-1807) qui aurait acheté un instrument astronomique lui ayant



Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

Dessin représentant le cercle de Borda utilisé dans l'opération de 1787.

appartenu ; c'est du moins ce que rapporte Delambre (1749-1822) tout en mettant en doute cet achat. Quoiqu'il en soit Méchain, protégé de Lalande, suit ses cours au Collège Royal. Ce dernier lui obtient un emploi au service cartographique du Dépôt de la Marine. Ses débuts en astronomie font découvrir à Méchain deux comètes, en 1681 et, l'année suivante, il entre à l'Académie des sciences.

En 1783, alors que la Carte de France est en voie d'achèvement, Cassini III songe à l'étape suivante; elle serait européenne par engagement des pays voisins dans de tels travaux. Il a déjà établi une chaîne de triangles jusqu'à Vienne en Autriche. D'un autre côté, il serait bon de raccorder la France à l'Angleterre

laquelle a en cours une opération cartographique générale du pays. En sera issue, après la mort de Cassini III, l'opération rattachant les méridiens de Paris et de Greenwich, menée de part et d'autre du Pas-de-Calais en 1787.

Les étapes successives d'un tel rattachement, entre deux observatoires créés à la même époque, ont fait l'objet d'une communication présentée au Congrès de la FIG (Brighton 1998) dont la version en français est parue dans le numéro 79 de la revue XYZ (1999). Rappelons que les opérations sont menées côté français par Cassini IV, Méchain et Legendre (1752-1833). Côté anglais, sous l'égide de la *Royal Society*, le responsable sur le terrain est l'ingénieur Roy (1726-1790) qui appar-

tient à l'*Ordnance Survey* et qui s'est illustré dans la cartographie de l'Ecosse; contribue également le secrétaire de la *Royal Society*, Blagden (1748-1820).

Les préparatifs de l'opération débutent en 1786 quand ce dernier vient en France installer des signaux avec Méchain et Legendre. Puis les Français, Cassini IV en tête, se rendent en Angleterre. Pour la triangulation devant enjamber le Pas-de-Calais, il est prévu qu'elle sera faite en double. Les Britanniques disposent d'un instrument nouvellement construit par le "fameux Ramsden" (1735-1800) comme le désigne Cassini IV. Il s'agit d'un grand théodolite, dont le cercle a trois pieds de diamètre. Il est actuellement conservé au Science Museum de Londres, tandis qu'un autre exemplaire figure dans les collections de l'Observatoire de Palerme.

Les Français sont également équipés d'un instrument nouveau: le cercle répétiteur de Borda (1733-1799) du constructeur Lenoir (1744-1832). Ce cercle est moins volumineux. Son cercle a un diamètre d'un pied (32,5 cm) seulement, et les géodésiens, à l'œuvre, espèrent qu'il sera plus maniable que le théodolite anglais, lorsqu'il s'agira de le hisser dans les clochers, les châteaux ou sur les tours devant servir de repères aux sommets des triangles. Méchain, qui connaît bien le maniement du quart-de-cercle, en est chargé aux fins de comparaison avec le cercle de Borda.

L'instrument du raccordement de 1787

Il est généralement considéré que, dès 1783, Borda a étendu à la géodésie le cercle entier qu'il avait mis au point pour la navigation à la mer, en modifiant le modèle que Mayer (1723-1762) avait développé entre 1752 et 1762; il est très vraisemblable de penser qu'il s'en est préoccupé en vue de l'opération qui aurait dû avoir lieu dès 1784. Quant au choix de Méchain, il provient sans doute de l'influence de Lalande à l'Académie des sciences, mais il avait pu s'imposer aussi par la formation acquise en matière de cartographie, outre les dispositions qu'il montrait pour les observations astronomiques.

■ ■ ■ Interrompues en raison de l'hiver 1786/87, les opérations vont pouvoir reprendre au printemps suivant. Louis XVI avait désigné Cassini IV et Méchain; Legendre est adjoint à l'équipe en août 1787 par le ministre du Roi, le Baron de Breteuil. Un peu plus tard, ce dernier se réjouit de la *"cordialité, l'union et le zèle qui existent entre les savants des deux Nations pour le travail qui leur est confié"*. C'est d'ailleurs ce qui ressort de la lecture du récit établi par Cassini IV à l'occasion de ce voyage mené entre le 17 septembre (date du départ de Cassini de Paris) et l'arrivée à Londres le 16 novembre 1787; les opérations ont pu être rondement menées.

Le cercle de Borda est utilisé de manière analogue au quart-de-cercle géodésique du temps de Picard lorsque ce dernier est employé seul. L'instrument possède

deux lunettes dont une est solidaire du bâti du limbe tandis que l'autre sert d'alidade. Il permet des observations astronomiques d'étoiles pour la détermination des latitudes, aussi bien que des mesures d'azimut pour les différents sommets de la triangulation, ainsi que des repérages d'altitude. Un siècle après les créateurs du XVII^e siècle, les astronomes géodésiens savent en tirer le meilleur parti.

Cependant, le cercle de Borda présente l'avantage de la répétition, notamment pour les mesures d'azimuts. Ses deux lunettes sont placées de part et d'autre de son plan et sont successivement employées pour les différents pointés. L'ensemble des opérations conduit à répéter la mesure des angles autant de fois que l'observateur le désire. Par ailleurs, il suffit d'effectuer uniquement la lecture correspondant au dernier pointé qui, par différence avec le premier et par division selon leur nombre, fournit la valeur angulaire conclue; les observateurs privilégient, évidemment, 10 ou 20 pointés successifs... La comparaison, entre les mesures au cercle de Borda et celles effectuées par Méchain au quart-de-cercle, conduit à donner un avantage particulièrement net au cercle, les erreurs apparaissant plus faibles d'un facteur dix.

Pour les observations de caractère astronomique, le cercle de Borda est employé verticalement, la lunette supérieure étant seule utilisée. La lunette inférieure sert alors de simple support au niveau qui doit être, indépendamment des mouvements de rotation du cercle, maintenu en position horizontale; la verticalité est contrôlée par emploi d'un fil à plomb. La latitude du lieu s'obtient par observation de la distance zénithale d'un certain nombre d'étoiles avant, puis après leur passage au méridien du lieu. Les observations sont menées en imprimant, entre chaque visée sur l'étoile, une rotation du cercle de 180°, puis une rotation de la lunette, la hauteur de l'étoile ayant changé entre les deux ajustements. A chaque opération il convient d'effectuer les lectures correspondantes à l'horloge; elles permettent d'apporter les corrections nécessaires pour tenir compte des variations de distance zéni-

thale. Il est clair que deux observateurs sont nécessaires pour effectuer, comme l'indique Cassini IV, dix pointés en douze minutes. Toujours en position verticale, le cercle répétiteur est également employé pour déterminer la distance zénithale des repères d'azimut d'où leur hauteur et, partant, la différence d'altitude qu'ils présentent.

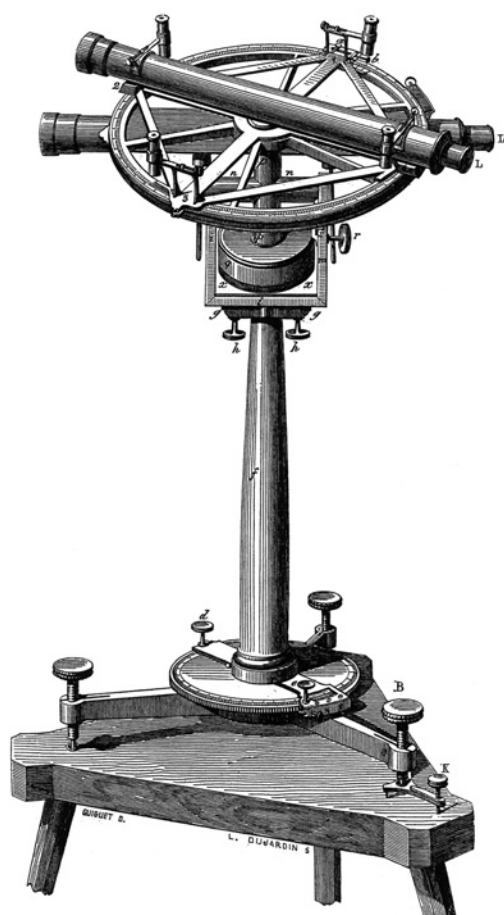
Outre l'intérêt apporté par la répétition, le cercle fabriqué par Lenoir a montré, également en 1787, sa supériorité liée à son faible encombrement. Une carrière de longue durée se préparait pour lui.

Début des opérations pour le Mètre

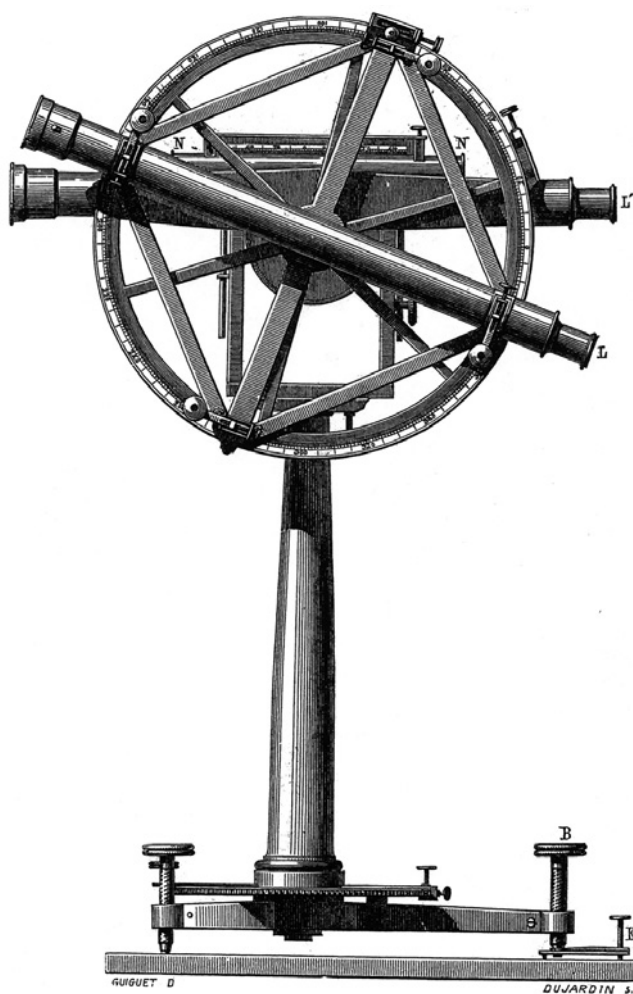
En novembre 1789, au lendemain de la Révolution française, les résultats du raccordement de 1787, côté britannique sont lus à la *Royal Society* et, l'année suivante, ils sont publiés. Côté français la publication de Cassini, Méchain et Legendre, prête depuis 1789, est retardée... et paraît vraisemblablement simultanément. L'accord entre les longitudes conclues par une mesure au sol s'établit à 9 minutes 18,8 secondes d'heure côté Channel, à 9 m 20,6 s ou 9 m 18,6 s côté Manche, Cassini ayant considéré deux hypothèses quant à la forme de la Terre.

La valeur moderne 9 m 21 s (arrondie à la seconde) relie le Méridien de l'Observatoire de Paris, axe de symétrie du Bâtiment de Perrault (1613-1688) son architecte, au Méridien de Greenwich, établi par Airy (1801-1892) au milieu du XIX^e siècle, méridien international de 1884 à 1967. En 1787, le méridien de référence, à Greenwich, était celui mis en place par Bradley pour son grand secteur mural, conservé en place au *Royal Observatory* de Greenwich. Ces deux derniers méridiens sont distants de 19 pieds anglais, soit un peu moins de 6 mètres. Le méridien de Bradley et celui de Paris sont les références cartographiques des deux pays depuis les opérations menées au cours du XVIII^e siècle.

A noter que, sur une distance dépassant 77 000 pieds, la différence des résultats de 1787 atteint une dizaine de pieds seulement et que, sur les angles, les écarts sont de l'ordre de quelques dizaines de



Dessin représentant le cercle de Borda, disposé pour les observations azimutales, extrait de l'*Astronomie populaire* d'Arago (Collection particulière).



Dessin représentant le cercle de Borda, disposé pour les observations zénithales, extrait de l'*Astronomie populaire* d'Arago (Collection particulière).

secondes de degré. Quant au petit cercle français d'un pied de diamètre, il avait permis d'obtenir les angles à la précision de la seconde, tandis que les quarts-de-cercle la donnaient à une fraction de minute de degré.

A la même époque revoit enfin le jour, dans la foulée des événements du moment, la proposition d'unifier les mesures. Le sujet est pendant depuis plusieurs siècles et même Picard, à la fin du XVII^e siècle, avait renoncé. Les premières propositions sont examinées au début de 1790; des contacts sont pris avec la Grande-Bretagne, et des échanges ont lieu jusqu'en mai. Mais le Parlement britannique est dissout en juin et, de ce fait, les projets d'études communs, entre la *Royal Society* et l'Académie des sciences, sont abandonnés. En France, tout se finalise rapidement en 1791: le nouveau système sera décimal et fondé sur le mètre, nou-

velle unité des mesures de longueur, qui doit représenter la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre. Ce choix nécessite de connaître cette dernière quantité et, en dépit des deux mesures déjà effectuées en France, il est décidé de faire entreprendre une nouvelle opération et, cette fois, d'un niveau de la mer à l'autre.

Cassini IV est choisi en raison des opérations menées par les astronomes de sa famille et, également, en conséquence du succès de la récente campagne Paris-Greenwich. Louis XVI le reçoit la veille même du jour de la fuite à Varennes (22 juin 1791). Le cercle répétiteur a fait ses preuves; pourtant Cassini IV, Méchain et Borda entreprennent une série d'observations pour contrôler son emploi aux mesures astronomiques lesquelles n'étaient pas l'objet du raccordement. Le manuscrit des Archives de l'Observatoire de Paris, qui en rend

compte, est intitulé "Observations / des hauteurs Méridiennes du Soleil et des Etoiles / faites à L'Observatoire Royal / Avec les nouveaux Cercles de Mr Le Chevalier de Borda".

Dans un premier fascicule se trouve une petite table de correspondance entre les 360 degrés et les 400 grades (de nos jours les gons) qui divisent le cercle de 2π . Suivent les mesures, comparatives entre un grand quart-de-cercle, le "mobile" de 6 pieds et un ensemble de cercles répéteurs de 12, 15 et 16 pouces* de diamètre. Le document relève de plusieurs écritures, mais on note principalement celle de Cassini IV. Bientôt les observations sont menées à des cercles numérotés I, II, III. Il s'agirait donc de ceux que Lenoir construisit et qu'il remit à l'Observatoire à mesure de leur achèvement.

Les observations sont effectuées au cours des années 1790, 1791, 1792. La synthèse pour les sept étoiles du programme, observées du 30 juin au 16 septembre 1791, est rédigée par Cassini IV qui commente et précise que "l'usage des nouveaux cercles [...] m'a mis dans le cas d'obtenir des résultats encore plus précis [...]". La conclusion est sans appel, en astronomie comme en géodésie, elle avantage le cercle répétiteur par rapport au grand quart-de-cercle de comparaison.

L'instrument nouveau est donc en mesure d'être employé, seul, pour l'opération géodésique projetée. Pour la mener à bien sont d'abord pressentis, outre Cassini déjà mentionné, Méchain et Legendre, artisans de la campagne de 1787. Les événements qui s'annoncent, au moment de sa mise en œuvre, sont tels que Cassini IV se récusait. Il en est de même, pour d'autres raisons sans doute, de Legendre, mais il collaborera étroitement avec les hommes de terrain par ses travaux mathématiques. Delambre (1749-1822) est alors désigné pour les remplacer, Méchain ayant accepté la mission.

Le Mètre de Méchain

* La nature du pouce n'est pas précisée. S'il s'agit du pouce (français) il vaut, comme le Zoll (allemand), 2,71 cm; l'inch (britannique) vaut 2,54 cm.

et Delambre

Tous les détails de la mesure de la Méridienne de France se trouvent dans les trois volumes de "Base du Système métrique décimal..." publiés, respectivement en 1806, 1807 et 1810. Ils se trouvent aussi dans les manuscrits de l'opération remis par Delambre, en deux temps, pour être conservés à l'Observatoire de Paris, alors sous la responsabilité du Bureau des longitudes qui le gère depuis 1795. L'opération de la Méridienne de France débute en 1792. A Delambre revient la partie nord, de Dunkerque à Rodez, où les observateurs disposent des travaux antérieurs. Il s'agit, dans certains cas, de retrouver et employer les mêmes sommets et, si possible, d'établir des triangles mieux conformés pour la mesure de certains angles.

Méchain se voit confier la partie sud, de Rodez à Barcelone. Il s'agit d'une zone pour partie montagneuse, non encore

explorée pour une large part et où les meilleurs triangles sont à rechercher. La tâche implique deux nations; son intérêt réside en outre dans le fait que chaque extrémité se trouve au niveau zéro constitué par le bord de mer. Au nord il s'agit du Pas-de-Calais souvent objet de mesures depuis un siècle. Au sud c'est la Méditerranée et l'on envisage d'atteindre les Baléares, en sorte que la mesure ait pour milieu le parallèle de 45° qui passe au nord de Bordeaux. Delambre, en dépit des difficultés du temps avec interruption des opérations puis leur reprise, parvient rapidement à Rodez. Les travaux de Méchain sont ralentis au point qu'en 1795, un "Mètre provisoire" est fixé, se fondant sur la mesure de Lacaille. Le ralentissement est dû pour partie à un accident survenu à Méchain et à un séjour qu'il fait en Italie où il laisse, selon Delambre, son cercle répétiteur divisé en 360°; il y demeure actuellement introuvable.

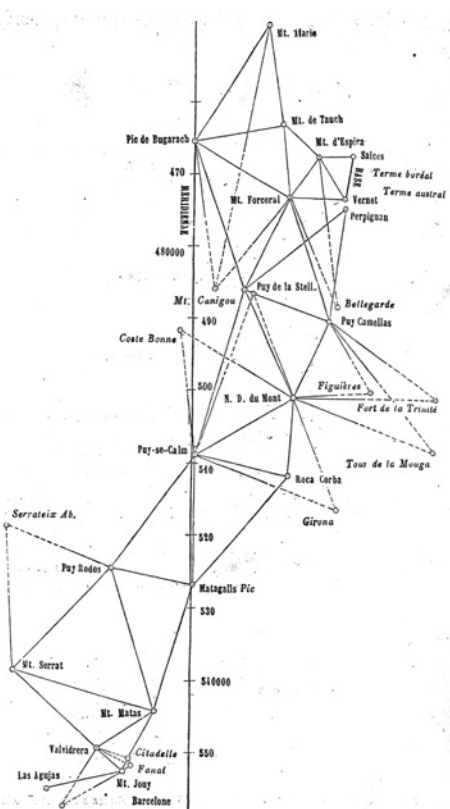
L'opération de Méchain comprend des triangles fondamentaux, observés au cercle de Borda, et des triangles complémentaires observés au graphomètre à lunette, emporté également pour s'assurer rapidement de la faisabilité des visées au sol. Une soi-disant "erreur de Méchain" – c'est lui qui le croit – mine celui-ci depuis qu'il a effectué des mesures en deux points de Barcelone, au Mont-Jouy et à l'Hôtel Fontana de Oro. Delambre, en dépit de la correspondance que lui adresse Méchain, ne semble que très peu affecté, d'autant qu'il a constaté – sur ses propres mesures – des écarts du même ordre de grandeur, lesquels seront confirmés, par Mudge (1762-1829) en Grande-Bretagne, dans des opérations similaires.

La campagne en vue de la détermination de la longueur du mètre ne s'achève réellement qu'en septembre 1798 quand Méchain rentre à Paris. Son opération géodésique lui a permis d'effectuer des mesures, en Espagne jusqu'au triangle Mt Matas-Valdivrera-Mt Jouy pour la partie fondamentale, avec pour derniers triangles complémentaires Valdivrera-Mt Jouy-Tour Castel de Fels qui est grand et un autre de très petit angle à Valdivrera, d'où sont visés dans Barcelone la Citadelle et le Fanal (l'italique indique qu'il ne s'agit pas d'un point fondamental de référence). L'un de ces derniers lui a causé beaucoup de soucis, ce qui explique aussi son retour tardif. Les experts étrangers et français assemblés, qui attendent ce retour, sont répartis en plusieurs commissions. Chacune s'emploie aux vérifications de l'ensemble des données et en tire conclusion au printemps 1799. La longueur du "Mètre définitif" est alors fixée à 3 pieds 11.296 lignes, alors que le "Mètre provisoire" avait été établi à 3 pieds 11.44 lignes, soit avec un écart de l'ordre de trois dixièmes de millimètre.

Fallait-il mener une telle opération pour une différence si minime? N'aurait-on pu choisir, simplement, la demi-toise puisqu'il était apparu depuis longtemps que la toise, ou ses équivalents d'autres pays, était d'une longueur double de ce qu'il était commode d'employer pour les mesures courantes? Dans l'un ou l'autre cas, le nouvel étalon de longueur



Partie septentrionale de la triangulation confiée à Méchain en 1792; dessin extrait de l'*Astronomie populaire d'Arago* (Collection particulière). Les parties en pointillé correspondent aux triangles complémentaires.



Partie sud de la triangulation confiée à Méchain en 1792, s'étendant du Mont Alaric à Barcelone; dessin extrait de l'*Astronomie populaire d'Arago* (Collection particulière). Les noms en italiques correspondent à des sommets de triangles non fondamentaux.

n'aurait pas répondu au vœu d'universalité souhaité et l'on comprend, dès lors, que ce caractère – outre celui beaucoup plus fondamental de la décimalisation du système – primait les autres.

Méchain, Arago, Biot et les autres

La longueur du mètre étant fixée, l'unité de masse, à l'époque on dit le poids, s'en trouvait déduite; les nouveaux étalons, fabriqués avec grand soin par Lenoir, sont contrôlés et bientôt remis solennellement aux autorités. Mais que devient Méchain? Il vit un drame secret, si bien que, lorsque le Bureau des longitudes envisage la prolongation de la Méridienne jusqu'aux Baléares, il revendique et obtient de retourner en Espagne.

Méchain repart le 28 avril 1803 afin de terminer le projet pour lequel son collaborateur, Tranchot, avait mené des opérations de reconnaissance lors du premier voyage. Méchain effectue des mesures d'angles de quelques triangles; le dernier relie Lleberia, Saint-Jean et Mont-Sia. Mais une épidémie survient, emportant de nombreuses personnes. Méchain lui-même est atteint et, hébergé chez le baron de La Puebla, il décède le 20 septembre 1804 à Castellon de La Plana.

Pendant cette campagne Méchain a poursuivi sa correspondance avec Delambre, lui faisant part à demi-mots de ce qu'il croit être une erreur de sa part. Tout s'éclairera pour Delambre quand, après le décès de Méchain, il disposera des documents qui lui sont alors remis pour publication. Quand il rédigera les trois volumes consacrés au sujet, Delambre les prendra en compte.

C'est ce qui ressort de la lecture des volumes, publiés sous les noms de Méchain et Delambre, comme de l'ensemble des documents réunis qu'il a soigneusement étudiés et commentés. Ce dernier a traité à part un ensemble de lettres de Méchain qui a fait l'objet d'un inventaire du temps de la direction de Le Verrier (1811-1877) à la tête de l'Observatoire de Paris. Cet ensemble porte le cachet "Observatoire impérial". Peut-être même a-t-il, antérieurement,

été examiné par Arago et Biot à l'occasion de la prolongation de la Méridienne de France, interrompue en 1804.

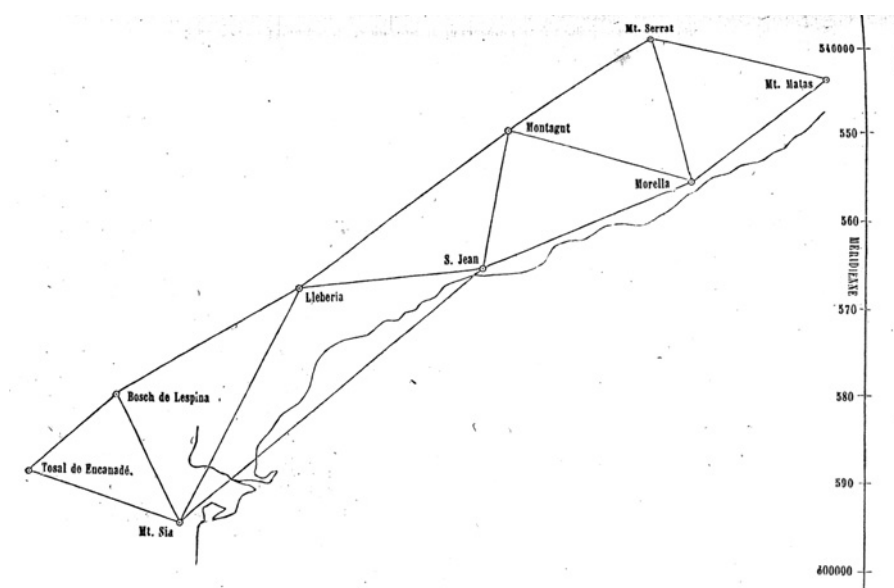
Cette correspondance a été depuis étudiée à différentes reprises, par Bigourdan (1851-1932) à l'occasion de ses articles de 1900, par Fayet (1874-1967) qui, l'ayant empruntée, a remis une collection incomplète en 1952, par Levallois (1911-2001) pour son ouvrage traitant de 300 ans de géodésie française, par A. Ten à l'occasion d'une Action intégrée franco-espagnole remontant à 1989. Plus récemment, et à l'occasion de son incroyable parcours à bicyclette de la Méridienne de France, cette correspondance a été de nouveau examinée, cette fois par K. Alder, pour son ouvrage "The measure of all things" paru en 2002.

Serait-ce la lecture de cette correspondance, ou ce qu'en aurait dit Delambre, qui aurait incité le Bureau des longitudes à faire reprendre l'opération au moment où paraît (1806) le premier volume de Méchain et Delambre? Quand sort le deuxième volume (1807) l'opération Biot-Arago n'est pas achevée. Elle le sera en 1808, avant que ne paraisse le troisième volume (1810). Dans celui-ci, Delambre fait largement état des résultats obtenus par Arago et Biot, également ceux de 1787, ainsi qu'une étude portant sur plusieurs valeurs de l'aplatissement terrestre.

Delambre y développe à cette occasion un ensemble de considérations conduisant à confirmer le caractère illusoire de toute mesure, caractère déjà apparu au moment des premières décisions.

La longueur du mètre, issue des mesures en 1799, comme de toute autre opération du même type, est une combinaison de différents facteurs: les graduations des cercles divisés avec leurs qualités et leurs défauts, les anomalies de la verticalité contrôlée au fil à plomb, la longueur des règles de Borda employées par Delambre dans la mesure des bases de la triangulation, la dilatation du thermomètre bi-métallique qu'elles constituent, leurs éventuelles déformations et défauts d'alignement, les erreurs de lecture des angles, des heures des horloges, des graduations des règles,... Il est à noter que même parmi ceux qui, plus tard, mèneront des opérations similaires comme l'arc le plus long mesuré au centre de l'Europe au XIX^e siècle, peu se sont aventurés à déterminer et proposer une nouvelle longueur pour le mètre, issue de leurs mesures.

Tous avaient compris qu'en fixant arbitrairement cette longueur à 3 pieds 11.296 lignes parmi d'autres valeurs possibles, il avait bien fallu se rapporter à un étalon antérieur et qu'en fait la longueur du mètre représentait une fraction de la "Toise de l'Académie". Les mètres de



Partie sud de la triangulation exécutée par Méchain, lors de son second voyage en Espagne en 1803/04, s'étendant du Mont Serrat au Mont Sia ; dessin extrait de l'*Astronomie populaire* d'Arago (Collection particulière).



© J. Alexandre

français, Firmin-Didot, Paris, 1791.
 Quinn T.T., *The metre and the pendulum*, *Nature*, vol. 348, 1990.
 Roy W., *An Account of the Trigonometrical Operations...*, *Philosophical Transactions*, London, Vol. LXXX, p. 111-271, 1790.
 Ten A., *L'Académie des sciences et les origines du Système métrique décimal*, in "Mètre et Système métrique" (Paris, Journées 1991), Débarbat S. et Ten A. Ed., Observatoire de Paris et Universidad de Valencia, p.15-31, 1993.
 Ten A., *Medir el Metro*, Universitat de València-C.S.I.C., Valencia, 1996.

Contact

Suzanne Débarbat
 Observatoire de Paris
 SYRTE/UMR 8630
 Bureau des longitudes
 mail : Suzanne.Debarbat@obspm.fr

ABSTRACT

Key-words: Borda, Cassini, Delambre, Lacaille, Langlois, Lenoir, Legendre, Méchain, Repeating circle, Borda circle, quadrant, meridian line, triangulation

At the end of the seventeenth century, the French Picard creates the geodetic astronomy, from the method experienced by Snel in the Low Countries. He measures a meridian arc along the Paris Observatory meridian line and designs instruments for this purpose. The same method, of course with instruments better made, will be used during the eighteenth century with a first triangulation (1683-1718), a second one (1739-1740), and the general map of France, the first such scientifically made at the level of a country. Méchain, Legendre and Cassini will pursue the work, having in mind a european operation, by the linkage (1787) of the Paris and Greenwich meridian lines. Méchain will be, with Delambre, in charge of a third operation for the determination of the length of a new unit (the Mètre, 1799) to be a base for a decimal metric system for weights and measures, decided in 1790 to be, in 1960, the Système International d'unités (the SI).

Dans la partie rouge, un repère de triangulation, utilisé ultérieurement par l'Institut Géographique National.

- Lenoir fabriqués, comparés, et entre lesquels le Mètre des Archives sera choisi en 1799, devenant en 1875 la référence des pays adhérents de la Convention du Mètre, ne sont que des approximations de la dix-millionième partie du quart du Méridien terrestre.

Les restes de Méchain peuvent demeurer tranquilles et sereins puisque le mètre, fraction de la longueur d'une barre de fer à 16.5° ayant servi de référence, a eu depuis des représentations qui lui sont demeurées cohérentes dans la limite des erreurs d'appréciation. ●

Bibliographie

Archives de l'Observatoire de Paris, C 5-27, D 2-19, D 2-41, D 5-6, D 5-7, D 5-12/13, D 5-42, E 2-9, E 2-13, E 2-19, E 2-19bis, Ms 1053.
 Alder K., *The Measure of All Things*, The Free Press, New-York, 2002.
 Aubert P., *Borda et le Système métrique*, Colloque "Bicentenaire de la mort du Chevalier de Borda" (Dax, avril 1999), Bulletin de la Société de Borda, n°456, p. 49-58, 2000.
 Bellec F., *Borda et la navigation scientifique*, le rendez-vous avec la Lune, Colloque "Bicentenaire de la mort du Chevalier de Borda" (Dax, avril 1999), Bulletin de la Société de Borda, n°456, p. 5-30, 2000.
 Bigourdan G., *La prolongation de la Méridienne de l'Observatoire...*, Bulletin astronomique, vol. XVII, p. 348-368, 390-400, 467-480, 1900.
 Biot J.-B. et Arago F., *Recueil d'observations astronomiques...*, Vve Courcier, Paris, 1821.

Borda J.-C. (de), *Description et usage du cercle de réflexion...*, (1^{re} ed. 1787), Paris, Firmin-Didot, 4^e ed., 1816.
 Débarbat S., *Coopération géodésique entre la France et l'Angleterre à la veille de la Révolution Française: échanges techniques, scientifiques et instrumentaux*, in "Echanges d'influences scientifiques et techniques entre pays européens de 1780 à 1830", Congrès du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques (Paris, avril 1989), Editions du CTHS, p. 47-76, 1990.
 Débarbat S., *Borda et l'astronomie*, Colloque "Bicentenaire de la mort du Chevalier de Borda" (Dax, avril 1999), Bulletin de la Société de Borda, n°456, p. 31-48, 2000.
 Débarbat S., *Arago, les Baléares et le Mètre*, Colloque "Arago" (Perpignan, novembre 2003), à paraître dans les Actes.
 Delambre J.-B., *Grandeur et Figure de la Terre*, Ed. par Bigourdan G., Paris, Gauthier-Villars, 1912.
 Cassini J., *De la grandeur et de la figure de la Terre...*, Paris, Imprimerie Royale, 1720.
 Cassini C.-F., *La Méridienne de l'Observatoire... vérifiée...*, Paris, Guérin, 1744.
 Cassini J.-D., Méchain P.-A. et Legendre A.-M., *Exposé des opérations...*, Paris, sd, prob. 1790.
 Levallois J.-J., *Mesurer la Terre - 300 ans de géodésie française*, Association Française de Topographie, Paris, 1988.
 Méchain P.-A. et Delambre J.-B., *Base du Système métrique décimal...*, Paris, Baudouin, 3 vol., 1806-1807-1810.
 Prony (Riche de) M., *Description des opérations...*, traduit de l'anglais en