

Trois cents ans de géodésie française

par J.-J. LEVALLOIS,
Ingénieur Général Géographe

LES PRÉCURSEURS - L'ŒUVRE DE PICARD

Je me propose de retracer dans une suite d'articles destinés à XYZ, les grandes lignes des travaux accomplis par les français dans le domaine de la Géodésie. C'est en effet notre pays qui, au cours des XVII^e, XVIII^e et de la 1^{re} moitié du XIX^e siècle prit l'initiative et assura la mise en œuvre de la plupart des entreprises de grande envergure, et même si depuis le milieu du XIX^e siècle l'intérêt des milieux français pour cette discipline scientifique semblait quelque peu émoussé pour bénéficier d'ailleurs d'un puissant renouveau depuis l'ère des satellites, même si notre position nationale n'autorise plus guère le rôle prépondérant qui fut le nôtre au XVIII^e siècle, on peut considérer que la géodésie française a encore son mot à dire dans le débat international, qu'il est écouté, voire sollicité.

C'est enfin une histoire assez typique de la façon dont progresse une science avec ses théories, ses expériences, ses querelles scientifiques ou personnelles, ses tâtonnements et ses succès. Il n'est pas mauvais que ceux des lecteurs qui ne la connaissent point puissent se faire une idée moins sommaire de l'ingéniosité du labeur, des concours qu'a exigé la lente élaboration du canevas géodésique de notre pays, qui n'est pas tombé tout créé du ciel, et de la part — idées, réalisations — due à nos devanciers ou à nos contemporains.

La documentation sur laquelle je m'appuie n'est pas inédite, elle est tirée de livres, classiques ou plus rares, ou de notices éparses dans des revues que chacun pourrait consulter s'il en avait le temps et le désir. La bibliographie en est indiquée en fin de chaque article, mais n'ayant aucune expérience, ni aucun titre d'historien des sciences, j'aurais peut-être parfois laissé passer l'essentiel sans m'en douter, ce dont je sollicite par avance l'indulgence du lecteur.

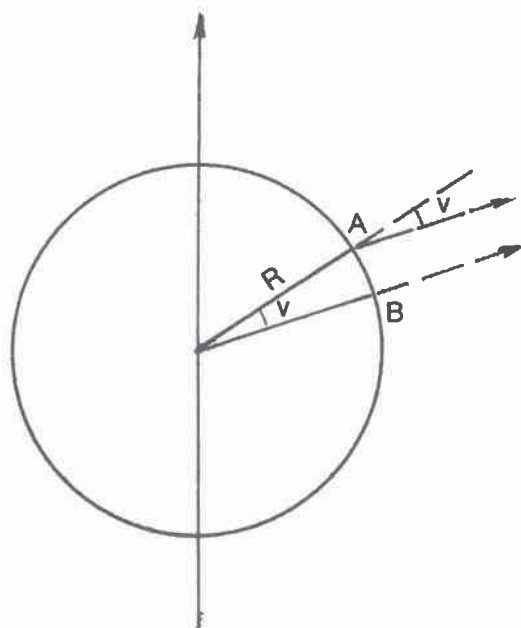
Nombre de ces documents m'ont été communiqués par le service des archives de l'Académie des Sciences, la Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, le Service de Documentation ou la Bibliothèque de l'IGN ; je tiens à les en remercier tout spécialement.

Par la suite, il ne sera pas toujours possible d'éviter un appel très bref au symbolisme mathématique, et nous supposerons connues les définitions élémentaires de cosmographie, astronomie et géographie :

mouvement diurne des étoiles, verticale, méridien, latitude, longitude, azimut, coordonnées équatoriales des étoiles etc... quitte à y revenir dans le courant de l'exposé.

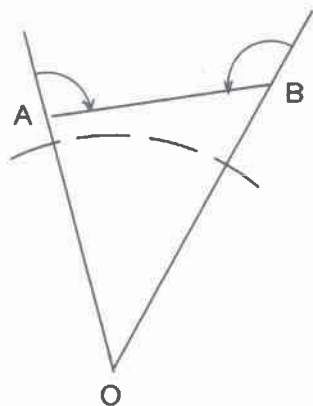
Les précurseurs

Les textes anciens ont conservé le souvenir de la mesure d'Eratosthène qui vers 240 avant J.-C. détermina le rayon terrestre R en mesurant, le jour du solstice d'été, la hauteur du soleil à midi en deux points (Alexandrie et Syène = Assouan) en Égypte. Le jour du solstice d'été, il mesurait au gnomon, à Alexandrie la hauteur du soleil à son passage méridien, et savait qu'à ce même moment le soleil est à la verticale de Syène. Comme les deux villes sont sensiblement sur le même méridien et qu'on connaissait leur distance AB en "stades", l'angle v au centre de la sphère était donné par la distance zénithale à Alexandrie d'où $R = AB/v$. Il trouva ainsi 250 000 stades pour la circonférence terrestre - les érudits s'entendent à estimer à environ 10 % la précision de la mesure, le stade d'Eratosthène est inconnu mais le principe de la méthode était fixé. Elle sera appliquée à nouveau au IX^e siècle par des cosmographes arabes avec la même précision.



— Le médecin Fernel en 1528 évalue le degré terrestre à 56 746 toises de Paris en mesurant un segment de 1° d'amplitude sur la route de Paris à Amiens, et comptant la distance en tours de roue d'une voiture ; ce résultat, quoique heureux, ne présentait aucune garantie scientifique.

— Le père Riccioli (1661) évalue à 62 900 toises le degré terrestre par une méthode différente : il mesure en 2 sommets A et B de distance connue AB, les distances zénithales réciproques ZA et ZB et, écrivant que la somme des angles du triangle AOB est égale à 180° en déduit l'angle au centre en O. Cette méthode, qui aurait été indiquée par Képler, ne pouvait rien donner de correct, car la mesure des distances zénithales est encore actuellement délicate, par suite de la réfraction atmosphérique, que Riccioli négligeait à tort.



En appliquant un coefficient de réfraction convenable on peut corriger son résultat et le ramener à une valeur comprise entre 55 000 et 57 000 toises, sans pouvoir préciser davantage, et d'ailleurs sans trop connaître la précision de ses données.

— Plus sérieuse est la mesure de Snellius qui vers 1617 mesure un arc de méridien aux Pays-Bas, entre Alkmaar et Berg op Zoom par triangulation, procédé imaginé par Gemma Frisius [5] vers 1533 et utilisé par Tycho Brahe pour rattacher son observatoire d'Uraniborg, situé dans une île du Kattegat, au continent [3].

Snellius trouva pour le degré méridien une longueur de 55 100 toises. Son opération quoique peu précise quant au résultat (les angles étaient mesurés à la précision de la minute sexagésimale) ressemble déjà quant à la conception à une mesure moderne.

— Enfin Norwood avait vers 1635 obtenu une valeur de 57 300 toises en mesurant un arc de méridien entre Londres et York [2], [5] par cheminement, avec mesure directe à la perche des longueurs des côtés, sur une amplitude de $2^\circ 28'$ soit environ 275 kilomètres !

Comme ceux de Snellius, ses instruments de mesures angulaires étaient de simples alidades à pinules mobiles sur des limbes gradués (sextants, quarts de cercle) donnant 1 ou 2 minutes sexagésimales.

Unités de mesures :

À l'époque où nous commençons cette histoire (1668), la plus aimable anarchie règne dans le domaine des mesures de longueur. Le pied, utilisé partout, est une mine inépuisable de confusions. Citons : (valeurs approximatives).

— Le pied de Paris :	0,3248 m
— Le pied du Rhin (ou de Leyde) :	0,3138 m
— Le pied de Londres :	0,3048 m
— Le pied de Bologne :	0,3803 m
— Le pied du Nord :	0,3156 m
— Le pied du Danemark :	0,3139 m
— Le pied Suédois :	0,2968 m
— Le pied de Burgos :	0,2786 m

...
et la liste n'est pas complète ; dans chaque État les unités de longueur varient d'une province ou d'une ville à l'autre.

Jusqu'à l'adoption du système métrique, en France, les mesures géodésiques de longueur seront rapportées à la "toise de Paris".

$$\begin{aligned} 1 \text{ toise} &= 6 \text{ pieds} & 1 \text{ pied} &= 12 \text{ pouces} \\ & & 1 \text{ pouce} &= 12 \text{ lignes} \end{aligned}$$

L'étalon de mesure est la "toise du Châtelet", distance séparant 2 ergots ou talons scellés dans un mur du vieux Châtelet où les drapiers et autres commerçants étaient tenus de comparer leurs règles de mesure. En 1799 on lui attribuera une longueur de 1.9490366 m [8], mais il n'est pas impossible qu'elle ait varié dans le temps, par suite de l'usure des talons due à l'encastrement permanent des règles à comparer, de sorte que cette toise était probablement plus courte vers 1670 qu'en 1792, comme du moins le présume Delambre. Ce n'est qu'à partir de 1794 que l'on pourra affirmer que la triangulation française est rapportée au "mètre", quels qu'aient pu être par ailleurs les avatars de la définition de celui-ci au cours des temps.

Les mesures angulaires seront le degré sexagésimal ou centésimal (à partir de 1794) mais ne prêtent pas à ambiguïté.

La définition du temps est astronomique, basée sur le mouvement diurne, et la seconde de temps est déjà bien voisine de la nôtre.

L'Académie des Sciences fut fondée en 1666 à l'instigation de Colbert qui peu après lui fit savoir (1668) qu'il "désiroit que l'on travaillât à faire des cartes géographiques de la France plus exactes que celles qui ont été faites jusqu'icy, et que la compagnie prescrivît la manière dont se serviroient ceux qui seront employez à ce dessein" [4], [5]. L'académie se mit à l'œuvre et désigna comme commissaires G. de Roberval, le célèbre mathématicien et l'astronome J. Picard. On décide de faire une expérience en Ile-de-France, et le topographe du Vivier est chargé de faire une triangulation locale, canevas préalable de la carte. Dans son rapport sur les premiers travaux, Picard écrit [4] : "...il serait à souhaiter pour l'entière justesse, qu'une semblable vérification fut continuée à divers autres endroits jusqu'à parfaire le châssis entier de la carte, pendant que ceux qui y travaillent n'auraient soin que de remplir chaque triangle en particulier, sans s'attacher à la liaison du total qui leur serait comme impossible s'ils veulent rester fidèles. Outre que par ce moyen on aurait une carte la plus exacte qui ait encore été faite, on en tirerait cet avantage de pouvoir déterminer la grandeur de la Terre... à l'aide des lunettes d'approche jointes à un grand instrument bien gradué...". En ces quelques lignes Picard expose la méthode que suivront désormais tous les topographes du monde : on crée un canevas

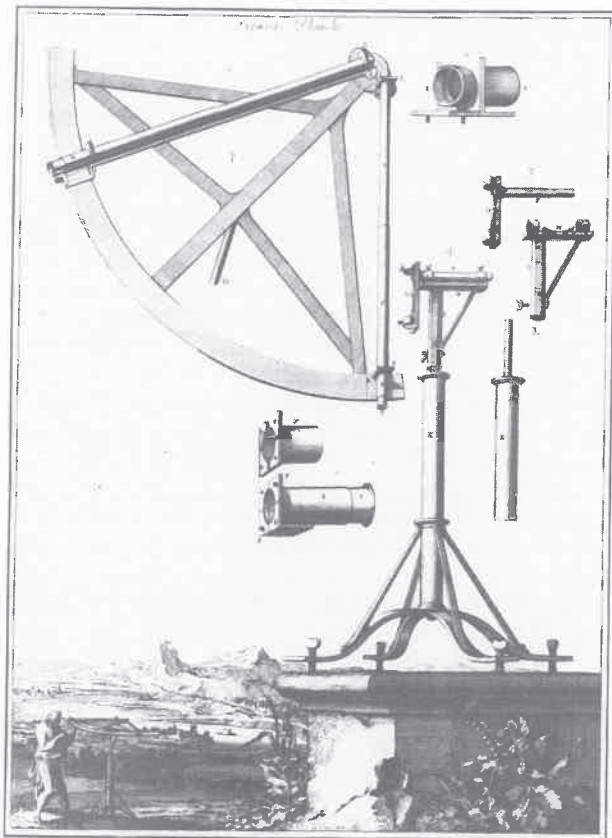
géodésique général, "châssis" de la carte, qui de surcroît présente un puissant intérêt scientifique !

A la même époque, sur les plans de Mansart, on commençait la construction de l'Observatoire de Paris (1668-1672) qui sera pendant un siècle le foyer de la géodésie française. Cette création était également due à Colbert, surintendant des Bâtiments du Roi.

I — L'œuvre géodésique de Picard

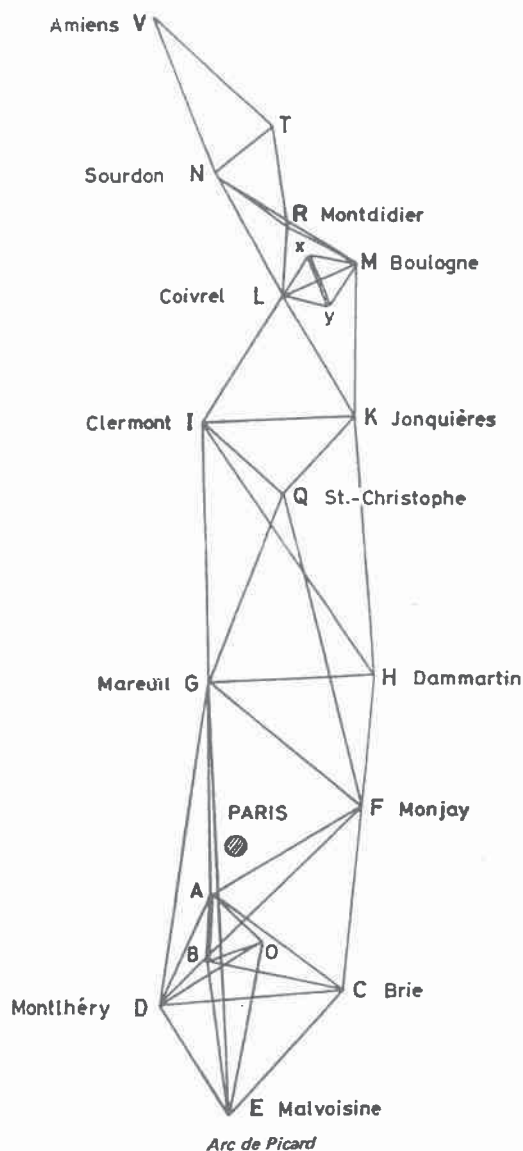
La méridienne Paris-Amiens (1669-1671) : le rapport de Picard à l'Académie dont nous venons de donner deux courts extraits est daté du 31 juillet 1669 [4]. Mais dès 1668, Picard avait commencé à mettre en œuvre une opération géodésique de grande envergure : la détermination du rayon terrestre par la mesure d'un arc de méridien. Il écrit dans sa "Mesure de la Terre" [1] : "...On a jugé que l'espace contenu entre Sourdon en Picardie et Malvoisine dans les confins du Gâtinais et du Hurepoix..." était favorable "...et on avait sù par plusieurs courses faites exprès qu'ils pouvaient être liés par des triangles...". C'est dans un des triangles de cette chaîne que du Vivier avait été chargé de l'exécution du projet de carte à soumettre à l'Académie, et l'on voit la liaison entre les deux travaux.

Picard conçoit lui-même ses instruments d'observation et, le premier, va utiliser comme alidade, une lunette munie d'un réticule. Son instrument de mesures angulaires est un quart de cercle à deux lunettes, dont l'une fixe est pointée sur l'origine de l'angle ; l'autre, mobile, sert d'alidade et se déplace devant la graduation du limbe dont la lecture fine se fait par la méthode des transversales [6], [9] (fig. 3).



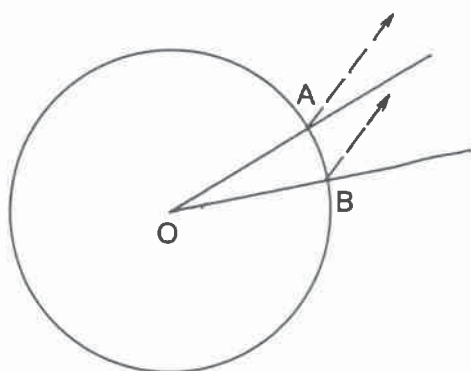
Ce limbe peut, par une articulation spéciale en son centre de gravité, être amené dans le plan de l'angle à mesurer. Les oculaires des lunettes sont situés du côté du limbe.

Dans son rapport [4], Picard ajoute... "après avoir ainsi déterminé une longueur sur terre, il faudrait trouver le rapport du Ciel, par la différence des hauteurs de pôle des deux extrémités seulement ou plutôt par la différence des hauteurs méridiennes d'une même étoile, proche du zénith..." et conçoit dans ce but le secteur astronomique, où une lunette de grande focale, tournant autour d'un axe horizontal très voisin de son objectif, sert d'alidade et décrit un plan vertical en déplaçant une graduation solidaire de petite amplitude centrée sur les tourillons. Un fil à plomb centré sur ce même axe de rotation, fixe la lecture correspondant à la verticale. Picard explique minutieusement les divers réglages de ses instruments (collimation, parallélisme des axes optiques au limbe, retournement etc...), qui en définitive ne seront supplantés qu'à la fin du XVIII^e siècle, par le cercle répétiteur de Borda. Dans l'opération de la méridienne Paris-Amiens, son quart de cercle avait 38 pouces (1,04 m) et son secteur astronomique 10 pieds de rayon (3,25 m).



La chaîne se compose de 13 triangles principaux dont les sommets sont indiqués sur la figure 4. Deux bases fixent son échelle, l'une joint le "Centre du Moulin de Villejuif et le plus proche coin du pavillon de Juvisy", l'autre est dans la région de Montdidier. Elles sont mesurées à l'aide de perches de 2 toises placées bout à bout, alignées au cordeau sur les 2 termes. Il trouve ainsi en moyenne de l'aller-retour Base de Villejuif-Juvisy 5 663 toises [1], [2], [3] Base de Méry-Past 3 902 toises. Retenons le premier de ces nombres, nous le retrouverons.

Picard mesure l'azimut de ses côtés à Mareuil d'où il pouvait viser à la fois Clermont et Malvoisine, et à Sourdon sur Clermont ; pour cela, il dispose son quart de cercle dans le plan vertical, la lunette fixe étant à l'horizontale et vise avec la lunette mobile l'étoile polaire à sa plus forte digression en repérant avec la lunette horizontale le point du tour d'horizon correspondant, dont il mesurera l'angle avec le signal concerné, méthode peu précise, mais suffisante dans le cas.



Il détermine enfin l'amplitude de l'arc céleste en observant à Malvoisine et Sourdon la distance zénithale méridienne du "Genou de Cassiopée" (Cassiopei) qui passe dans ces 2 stations à moins de 10° du zénith (c'est la méthode d'Eratosthène). (Fig. 5).

Il procède de même à Amiens, et obtient ainsi les amplitudes suivantes : [1], [3].
Malvoisine - Sourdon 1° 11' 57"
Malvoisine - Amiens 1° 22' 55".

Le calcul de la longueur de sa chaîne lui permet alors de donner la longueur du degré méridien sous la latitude moyenne qu'il arrête à :

57 060 toises

Ce résultat était important et nouveau ; on a souvent affirmé, bien que cela soit aujourd'hui contesté, que cette valeur servit de test à Newton pour confirmer la justesse de son hypothèse de l'attraction universelle, que les valeurs antérieurement connues ne permettaient pas de préciser [5]. Il est facile de vérifier numériquement que la valeur de Picard est effec-

tivement la plus satisfaisante, lorsque l'on écrit que la pesanteur à la surface de la terre est à l'accélération centrifuge de la lune (que l'attraction terrestre contrebalance) comme le carré du rapport des distances respectives au centre de la terre.

Étalon de longueur - Mesure de la pesanteur :

L'étalon de mesure des longueurs auquel Picard avait rattaché ses deux bases était la toise du Châtelet qui venait d'être réfectionnée, mais il ne s'y fiait pas trop : "...de peur qu'il n'arrive à cette toise ce qui est arrivé à toutes les anciennes mesures dont il ne reste plus que le nom, nous l'attacherons à un original, lequel étant tiré de la Nature même, doit être invariable et universel... La longueur d'un pendule à secondes de temps moyen, pourrait être appelée rayon astronomique, dont le tiers serait le pied universel ; le double de ce rayon serait la toise universelle, qui serait à celle de Paris comme 881 à 864... La longueur de la toise de Paris et celle du pendule à secondes, telle que nous l'avons établie, seront soigneusement conservées dans le magnifique observatoire que Sa Majesté a fait bâtir pour l'avancement de l'Astronomie..." et Picard mesure g à Paris et trouve pour le pendule simple à seconde la valeur $l = 440,5$ lignes [1], [3], qui correspondrait à $g = 9,807$ (valeur correcte 9,809).

On ne sait si Picard put réaliser son désir et déposer à l'Observatoire la toise étalon à laquelle il avait comparé les règles de bois pour la mesure des bases de son arc, ni s'il a jamais utilisé la mesure pendulaire pour créer un étalon de longueur ; on n'a à peu près rien retrouvé de semblable dans les collections de l'Observatoire de Paris bien qu'on les y aient recherchées dès le milieu du XVIII^e siècle. On verra par la suite qu'une erreur systématique de l'ordre de 1/1 000 se décèle dans sa base.

Étude critique : les carnets d'observation de la méridienne de Picard n'ont pas été retrouvés et les angles publiés [1], [3] sont corrigés, de manière à assurer la fermeture angulaire de ses triangles à 180° après réduction au plan horizontal et répartition de la fermeture. On peut toutefois après étude critique [7], évaluer la précision de ces angles à $\pm 20''$ sexagésimales.

Si l'on considère uniquement l'enchaînement Malvoisine-Sourdon — car les triangles de Sourdon à Amiens sont bâclés et souvent incomplets, le calcul corrobore les valeurs que Picard a trouvées pour la longueur de l'arc dans son système d'unités de longueur.

— Les valeurs astronomiques sont certainement défectueuses : Picard évidemment ne tient compte ni de l'aberration ni de la nutation qui ne seront découvertes que 50 ans plus tard, ni de la réfraction ; on peut encore actuellement apporter les corrections correspondantes et l'on s'aperçoit que loin d'améliorer, elles détériorent les résultats [7], car l'amplitude astronomique qu'il aurait dû obtenir peut être à peu près reconstituée et ressortirait sur Sourdon-Malvoisine à 1° 11' 50'' au lieu de 1° 11' 57'' qu'il a trouvé, et

qu'il aurait dû porter à $1^{\circ} 12' 04''$ en apportant les corrections appropriées ! Picard avait pressenti la variation annuelle des coordonnées stellaires dues à l'aberration [3] et se proposait de reprendre les mesures astronomiques aux deux extrémités de l'arc simultanément. Il ne put réaliser ce projet, peut-être a-t-il apporté aux distances zénithales annoncées une correction empirique de variation, déduite des 2 mois d'observations qu'il consacra à cette opération (la déclinaison de δ Cassiopée varie de $20''$ pendant ce temps, ce qui était à la portée de ses mesures) mais il reste muet sur ce point.

Nous n'avons pas parlé des travaux de nivellement de Picard [10] dont il sera question ultérieurement, non plus que de ses travaux astronomiques qui ont été pourtant fondamentaux, ni de son talent de professeur (il fut le maître d'œuvre O. Romer qui le premier découvrit et mesura la vitesse de la lumière), mais on ne saurait trop insister sur l'énorme importance scientifique et pratique de ses idées et de ses réalisations géodésiques :

- idée d'un étalon de longueur lié à un phénomène physique reproductible,
- affirmation que la cartographie régulière doit être appuyée sur un cadre géodésique précis, et qu'il en résulte des retombées scientifiques,
- création du matériel de mesure adéquat, invention des lunettes à réticule,
- mise en œuvre, observation d'une chaîne géodésique qui servira de modèle à ses successeurs, première détermination du rayon terrestre,
- observations pendulaires dont l'importance apparaîtra ultérieurement.

Il fut vraiment le créateur de la géodésie française.

(à suivre)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Tome VII. 1666-1699.
- [2] J.-B. Delambre : Grandeur et figure de la Terre. Publié par les soins de G. Bigourdan - Gauthier Villars. 1912.
- [3] J.-B. Delambre : Histoire de l'Astronomie. Astronomie moderne. Tome III.
- [4] L. Gallois : L'Académie des Sciences et les origines de la carte de Cassini. Annales de géographie. 1909 - N° 99.
- [5] R. Taton : J. Picard et la mesure de l'arc de méridien Paris-Amiens. Colloques internationaux du CNRS - N° 590. La découverte de la France au XVII^e siècle.
- [6] Colonel Berthaut : La carte de France 1750-1898. Service géographique de l'Armée - 1898.
- [7] J.-J. Levallois : La détermination du rayon terrestre par J. Picard en 1669-1671. Bulletin géodésique. Volume 57 - N° 3 - 1983.
- [8] Annuaire du Bureau des Longitudes (1974).
- [9] A. Danjon et A. Couder : Lunettes et télescopes.
- [10] La Hire : Traité du Nivellement par M. Picard, de l'Académie Royale des Sciences, avec une relation de quelques nivellements faits par ordre du Roy... Mis en lumière par les soins de M. de la Hire.