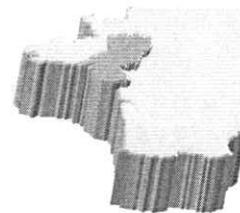


IREM

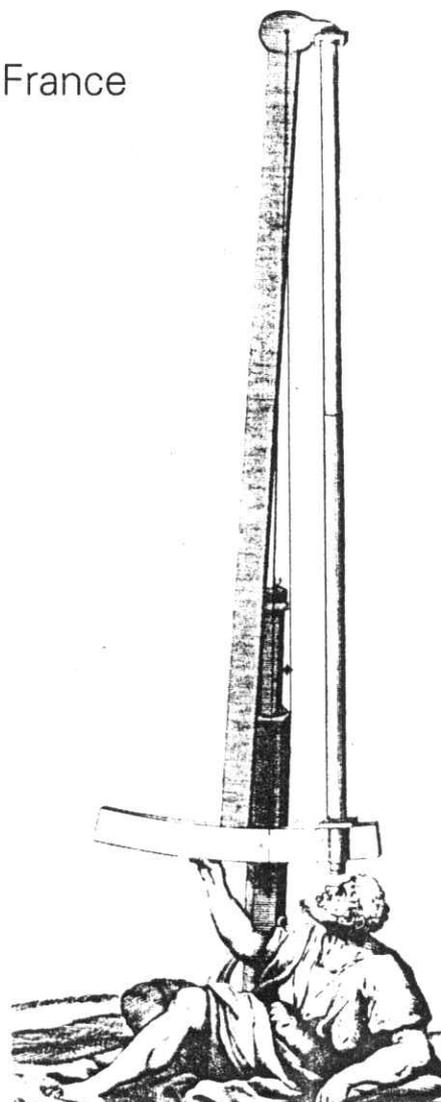
INSTITUT DE RECHERCHE SUR L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES
DES PAYS DE LA LOIRE



MESURER

AUSSI BIEN LA TERRE QUE LE CIEL

Ou
de la forme de la Terre à la première carte de France
à l'échelle



MESURER

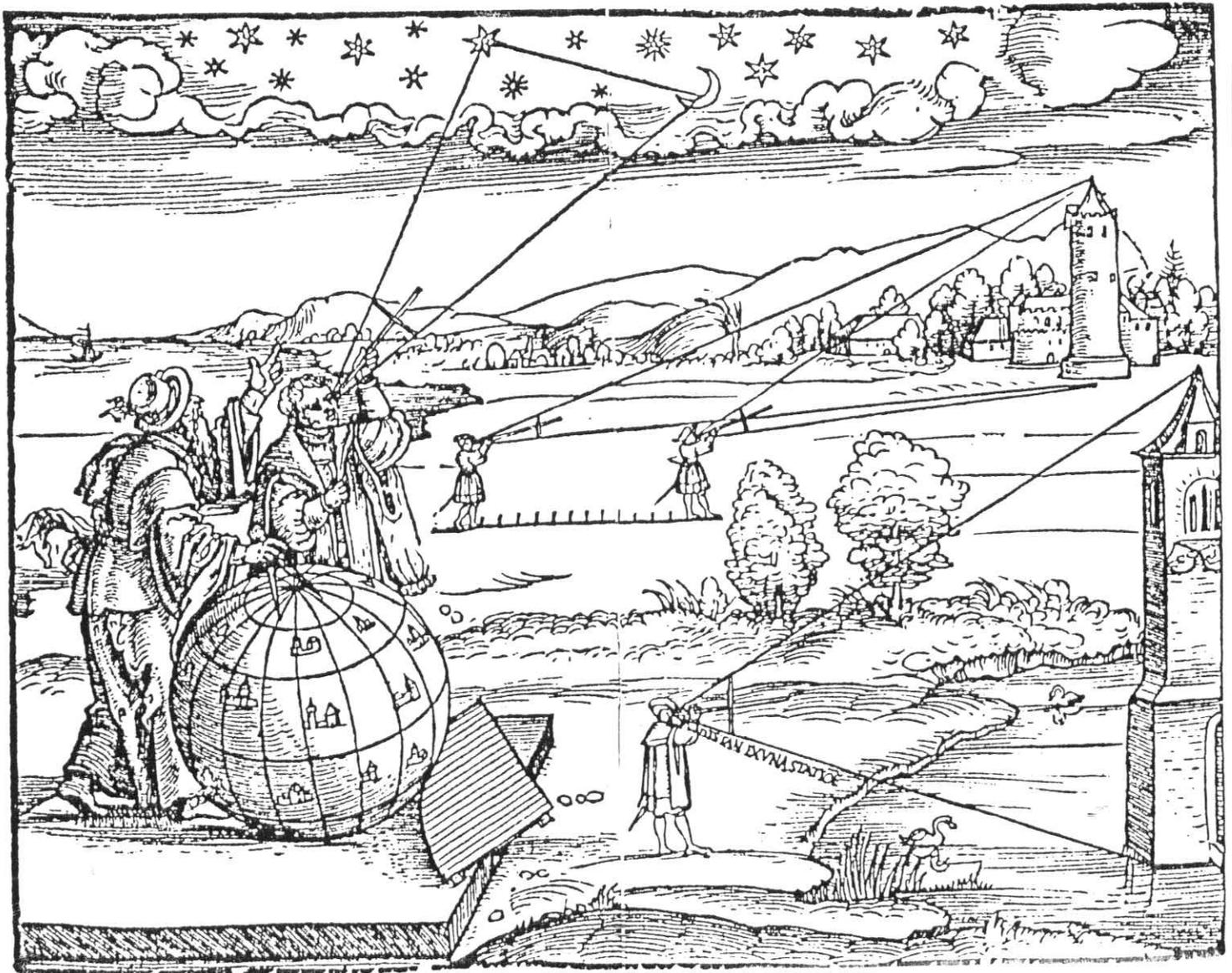
AUSSI BIEN LA TERRE QUE LE CIEL

ou

De la forme de la Terre à la première carte de France à l'échelle

Anne BOYE

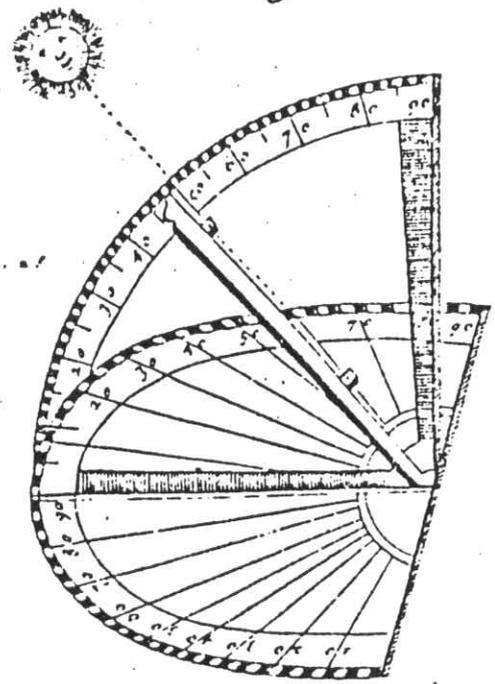
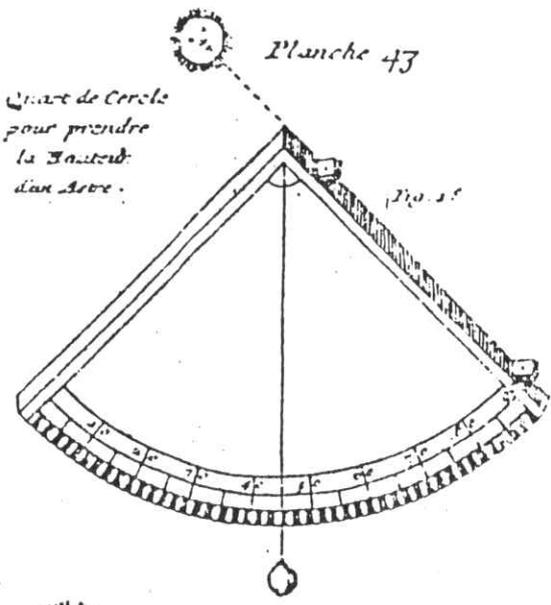
Xavier LEFORT



Mesurer
aussi bien la Terre que le ciel

Planche 43

Quart de Cercle
pour prendre
la Hauteur
d'un Astre.



Instrument pour observer en même temps la Zénith et
la Hauteur d'un Astre.

En haut : quart de cercle
(pour mesurer la hauteur d'un astre).

En bas : instrument pour mesurer
à la fois l'azimut et la hauteur d'un astre.

Il convient de préciser dans quelles conditions a été envisagé et réalisé ce travail. Il s'agissait, suivant une proposition faite lors de l'Université d'été organisée à Toulouse, en juillet 1986, par la commission inter-IREM⁽¹⁾ d'Histoire des Mathématiques, de recueillir une documentation sur des sujets permettant un travail pédagogique pluridisciplinaire.

L'histoire de la première carte de France à l'échelle nous était apparue comme un bon thème. Il réunit en effet sur près d'un siècle et demi (1668-1820) des problèmes d'ordre historique, géographique, mathématique, physique, astronomique, sans oublier les connotations littéraires. En particulier, l'établissement de cette carte a été étroitement lié aux questions de mesure et de forme de la terre qui ont préoccupé les sociétés savantes de l'époque : si la terre est un ellipsoïde, est-il étiré vers les pôles ou au contraire aplati ? Tout ceci a entraîné beaucoup d'hypothèses, de calculs, de campagnes de mesures et fait écrire à CESAR-FRANÇOIS CASSINI DE THURY que "Les astronomes connaissent aussi bien la Terre que le Ciel".⁽²⁾

Nous avons centralisé la recherche des documents, ce qui a permis de réaliser un projet d'action éducative au Lycée de la Baule, concrétisé par une exposition montée par les élèves. Cette exposition a été présentée à l'Université d'été de la Rochelle (Aout 1988, commission inter-IREM Histoire des Mathématiques) puis aux journées de l'APMEP⁽³⁾ à Rouen la même année.

Ce travail a donc essentiellement été orienté dans un but pédagogique, privilégiant l'aspect pluridisciplinaire. Nous avons ainsi regroupé la plupart des aspects scientifiques dans des pages hors-texte ; par ailleurs, nous nous sommes efforcés d'utiliser essentiellement les différents ouvrages et rapports de l'époque, si possible en insérant des extraits quand nous disposions de photographies convenables. Sans doute beaucoup de points mériteraient d'être approfondis, mais il nous a semblé préférable de rester, en contenu comme en volume, à la portée des élèves du secondaire.

Anne BOYE
Xavier LEFORT

(1) Institut de Recherche sur l'enseignement des mathématiques.

(2) Dernière phrase de la "description géométrique de la France" parue en 1783.

(3) Association des Professeurs de Mathématiques.

Nous tenons à remercier

Madame Michelle DUPAIN pour les schémas.

Madame Catherine ROBIN pour la frappe du manuscrit.

Madame Annick FLANCHEC, Directrice de l'IREM de Nantes.

Messieurs Yannick MAREC, Frédéric METIN, Henry PLANE
Les Bibliothèques municipales d'Angers et de Reims
La bibliothèque universitaire de LILLE I
pour leur aide dans la recherche de la documentation.

Monsieur Jean BOYE pour la relecture.

1) QUELQUES REPERES HISTORIQUES

La cartographie présente plusieurs aspects et peut relever de conceptions assez différentes. Sans doute s'agit-il d'abord de représenter un environnement géographique, mais cette activité s'oriente différemment selon qu'elle suit une vocation pratique, scientifique ou encore artistique. De plus, il faut aussi distinguer le fait de rédiger et de reproduire des cartes, du travail qui consiste à les établir, à partir d'observations ou de mesures ; dans ce dernier cas interviennent toutes les disciplines qui touchent à la description du monde, telles l'astronomie ou la géodésie. L'acquisition de ces disciplines par l'humanité au cours de l'histoire a permis la progression de la cartographie, mais il a fallu deux millénaires pour qu'apparaissent au XVIII^e siècle les premières cartes générales, établies avec un réel souci scientifique.

Les problèmes rencontrés ont été également de types variés. Il a fallu d'abord situer convenablement suivant un repère choisi la situation des points remarquables qui doivent figurer sur une carte. Si le principe de la quasi sphéricité de la terre est admis, la recherche des coordonnées géographiques (longitude et latitude) se fera par visée astronomique. Ensuite il est nécessaire, sur le terrain, de lever avec précision par rapport à ces premiers points, tous les détails indispensables, et la localisation des lieux secondaires. Dans un troisième temps, le report sur une surface plane demande la définition d'un système de projection et la conduite des calculs afférents. Puis il faut la reproduire si possible, c'est-à-dire la graver, réaliser un modèle maître, pour pouvoir enfin la diffuser. Chacune de ces étapes recèle évidemment nombre d'obstacles que petit à petit les progrès des sciences et techniques ont permis de surmonter.

Il ne reste pas de traces d'une activité cartographique antérieure à la civilisation grecque. On peut cependant imaginer que certains, à commencer par les navigateurs, aient voulu décrire et représenter les contrées qu'ils avaient traversées, au moins pour conserver ces indications, si ce n'est pour les transmettre. Cet aspect sera bien sûr l'un des fils conducteurs de l'histoire de la cartographie. Par ailleurs, certaines relations laissent supposer l'existence et l'usage de cartes nécessaires à la distribution de terres cultivables⁽¹⁾. Mais il faut attendre une naissance réelle de la géographie, pour voir apparaître la première carte qui ait laissé une trace.

(1) La Bible mentionne le partage des terres d'Israël. De même, la répartition des terres après les crues du Nil pourrait avoir généré une activité cartographique.

Selon HERODOTE⁽¹⁾ c'est ANAXIMANDRE de MILET⁽²⁾ qui aurait le premier représenté le monde connu sur une carte, suivant un développement cylindrique. Cette première ébauche a sans doute eu une descendance, enrichie des explorations qui eurent lieu les siècles précédant la civilisation romaine. Plus encore, le développement des connaissances astronomiques et mathématiques des grecs a permis l'élaboration de cartes plus figuratives, telle celle d'ERATOSTHENE⁽³⁾, dont certaines nous sont parvenues, malgré la disparition d'une grande partie de l'héritage écrit du monde grec. Ces cartes se basaient sur des relevés astronomiques permettant de situer les endroits importants, complétés par les observations de divers explorateurs. La carte d'ERATOSTHENE reproduit méridiens et parallèles des lieux les plus connus, placés cependant par évaluation approximative des distances. Le résultat reste bien sûr éloigné de notre vision actuelle du globe terrestre.

Les romains n'ont apporté que peu de choses⁽⁴⁾ à l'histoire des cartes, si ce n'est des indications d'itinéraires. Par contre c'est à Alexandrie que PTOLEMEE⁽⁵⁾ a conçu une description du monde qui sera la référence jusqu'au XVI^e siècle. Mathématicien, astronome, géographe, il réalisa un ensemble de cartes dont l'assemblage recouvrait le monde connu. Malgré les imprécisions liées d'une part aux inexactitudes des témoignages utilisés, d'autre part aux évaluations erronées des distances, l'oeuvre de PTOLEMEE va servir de base aux représentations cartographiques du monde jusqu'au delà du Moyen-âge.

Alors que l'Occident chrétien vivait une période de décadence, la science des grecs en général et la géographie en particulier se transmièrent aux arabes, surtout grâce au Khalifat d'AL MEIMOUN⁽⁶⁾. Le seul apport notable du moyen-âge européen réside dans la recherche artistique et l'enluminure des cartes anciennes. Par contre, d'une part les multiples voyages des explorateurs arabes et d'autre part, les travaux scientifiques telle la mesure d'un arc de méridien⁽⁷⁾ contribuèrent à l'amélioration de la connaissance géographique et à sa représentation par les cartes. Cependant, en l'absence de concepts comme la

(1) Herodote (610-547 avant J.C.).

(2) Anaximandre (510-425 avant J.C.).

(3) Eratosthène (275-194 avant J.C.) on lui doit la première mesure connue du méridien terrestre.

(4) Il aurait existé une carte de l'empire romain peinte sur un portique de Rome. Cf ALINHAC, "historique de la cartographie" I.G.N. 1986.

(5) Ptolemée (90-168).

(6) Al Meimoun mort en 833 successeur d'Haroun Al Rashid au Khalifat de Bagdad.

(7) Cf discours préliminaire de l'encyclopédie de l'Abbé Bossut article mathématiques p. 35 (1784).

triangulation, les résultats restent entachés d'approximations et d'erreurs importantes et ne présentent pas une avancée spectaculaire.

D'un autre côté, à la fin du moyen-âge, se multiplient des cartes marines, mentionnant nombre de détails susceptibles de venir en aide à la navigation. Ces sortes de manuels décrivent principalement les abords des ports, d'où leur nom de portulans⁽¹⁾. S'ils sont riches de détails, ils sont cependant construits sur des procédés artisanaux et banissent presque tout aspect scientifique : le dessin des côtes est très précis, mais ne figure aucune indication de latitude, encore moins de longitude. Ce système de carte est resté en usage jusqu'à ce que les procédés théoriques puissent se mettre en application.

Au début du XVI^e siècle, l'héritage cartographique est donc bien hétéroclite : système de PTOLEMEE, portulans, relations de voyages et d'explorations forment un ensemble quelque peu confus que les progrès de la Renaissance vont intégrer. Ces progrès devront d'abord être scientifiques pour que la projection utilisée pour représenter tout ou partie du globe terrestre sur une surface plane, soit justifiée. Ainsi, la projection de PTOLEMEE (parallèles dessinées sous forme de cercles concentriques et méridiens reportés en courbe, point par point) ne suffit plus, pour décrire les étendues régulièrement parcourues par les navigateurs, puisque, plus on s'éloigne du méridien de référence, plus la déformation est importante. Il faut alors définir de nouvelles projections, basées sur l'utilisation d'autres concepts mathématiques.

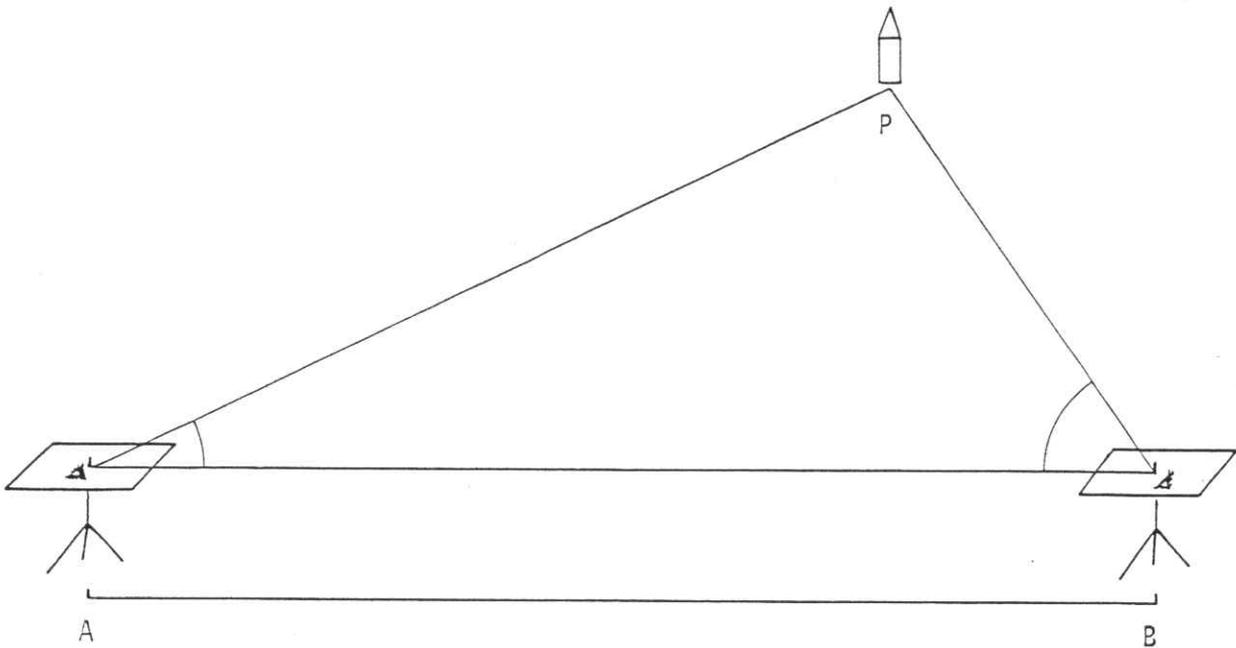
En ce qui concerne l'aspect technique, c'est à cette époque que les cartes se reproduisent autrement que par copie à la main⁽²⁾. On utilise alors soit la gravure sur bois, soit la gravure sur métal, la seconde ne supplantant la première qu'à la fin du XVI^e siècle. Sur le terrain, l'introduction d'appareils, relevant de l'astronomie, vont permettre de préciser les coordonnées des points remarquables, en particulier la latitude des points. Les méthodes des levés de détail, enfin, montreront un souci d'exactitude. LEONARD de VINCI⁽³⁾ réalise une carte d'Imola où la ville est repérée à partir d'un centre, chaque point étant situé selon une direction et sa distance au centre, système préfigurant nos coordonnées polaires. Une façon plus courante de cartographier une contrée est d'utiliser le système de la planchette (cf hors texte).

(1) Ou carte à rumb.

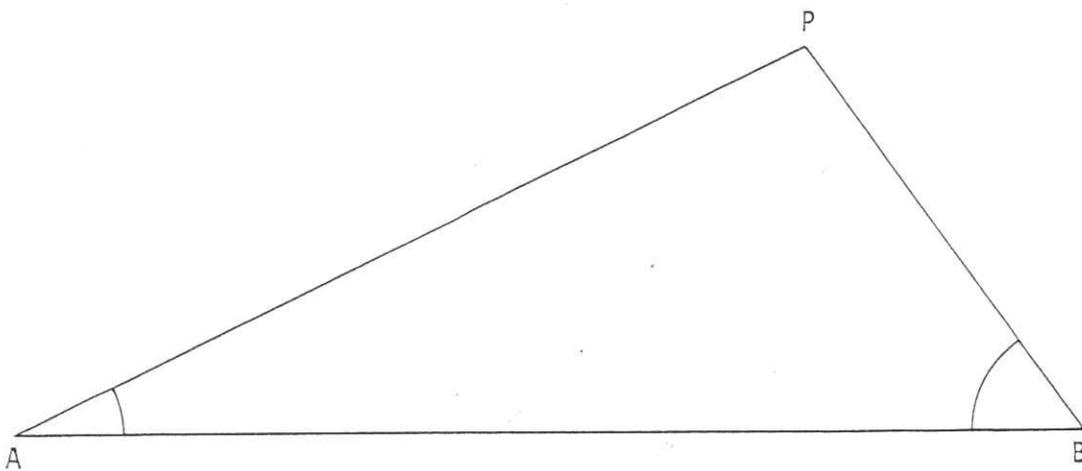
(2) L'invention de l'imprimerie date de 1453.

(3) Léonard de Vinci (1452-1519).

RELEVÉ A LA PLANCHETTE



Après avoir mesuré sur le terrain la distance A B, l'observateur placera sa planchette bien à l'horizontale successivement en A et B. Par simple visée, il tracera à chaque fois les directions définies par le centre de la planchette et les points remarquables du paysage à cartographier (clocher, arbres, sommets...)
Le report des deux relevés sur une même feuille permettra de dresser la carte.



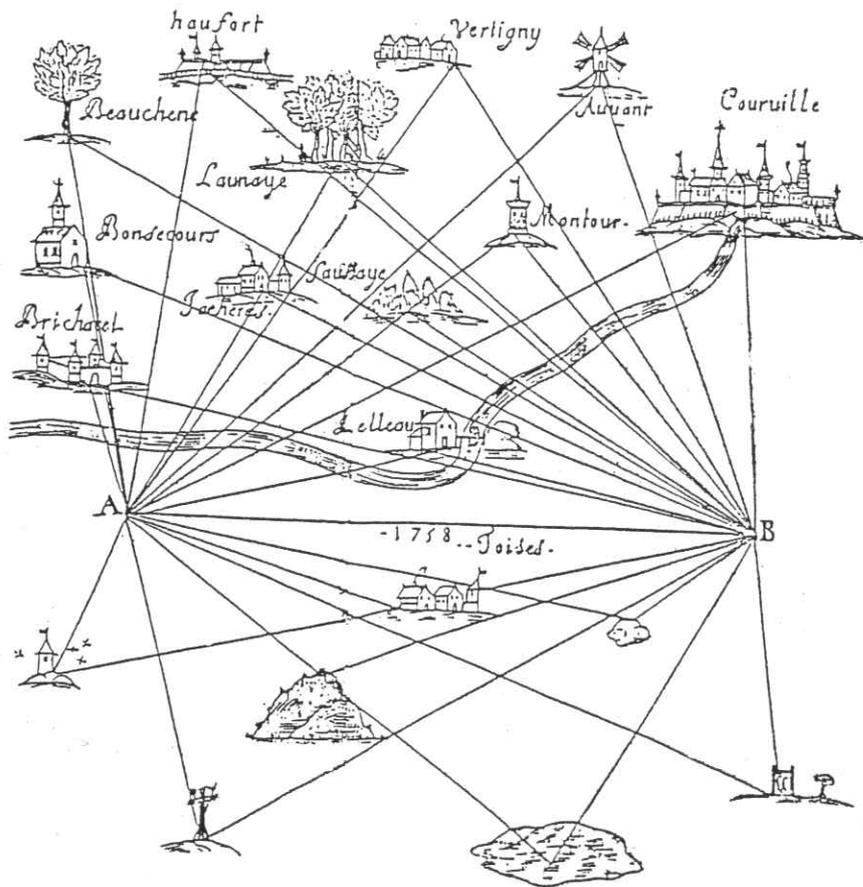
Ci-après extrait de la "géométrie pratique de l'ingénieur ou l'art de mesurer".

(CLERMONT 1693)

Methodé exacte & juste, pour disposer sur une Carte Geographique les principaux lieux qui y doivent être marquez

Je suppose icy qu'on veuille disposer sur un Plan Geographique, plusieurs Bourgs & Villages suivant leur Situation & leur éloignement l'un de l'autre, afin de marquer ensuite plus facilement sur ce même Plan, les Montagnes, les Ruiffeaux, les Prez, les Bois, &c.

La premiere chose qu'on doit faire pour en venir facilement à bout; c'est de choisir deux endroits tels que A. & B. d'où l'on puisse découvrir tous les Bourgs & les Villages qu'on veut placer sur la Carte, & que reciproquement ces deux endroits A. & B. se voyent l'un l'autre, ce qui étant fait on mesurera la Distance A. B. le plus precisément qu'on pourra & cela actuellement par le moyen d'une mesure connue. Or je suppose que cette Distance A. B. soit de 1758 Toises. Car plus elle est grande plus l'operation est juste;



Si on usoit de la Planchette dans cette operation, on seroit beaucoup mieux, parce qu'ayant une ligne droite dessus, relative à la Ligne A. B. il n'y auroit après cela qu'à tirer des Rayons le long de la Regle qui vous sert à borer, & par ce moyen votre Carte seroit toute dressée.

Cette époque voit aussi l'émergence d'écoles, certaines orientées vers la reproduction de cartes marines, (Espagne et Portugal), d'autres soucieuses de l'aspect scientifique (Allemagne ou Ecole flamande). GEMMA FRISIUS⁽¹⁾ est connu pour avoir le premier, semble-t-il, utilisé la triangulation dans le but de dresser des cartes locales en Flandre. Son élève, MERCATOR⁽²⁾, réalise un remarquable ensemble de cartes, formant atlas, basé sur des considérations mathématiques. La projection, qui porte son nom, dite également "à latitudes croissantes" permet de cartographier à partir d'un canevas précis de méridiens et de parallèles. Cependant, les erreurs dont étaient déjà entachées les cartes de PTOLEEMEE, se retrouvent dans les productions du XVI^e et du XVII^e siècles d'autant plus que le problème du calcul des longitudes n'était pas résolu de manière satisfaisante.

Localement, à l'échelle d'une région ou d'un pays, les initiatives sont de plus en plus nombreuses, même si elles véhiculent bien des imprécisions. En France, ORONCE FINE⁽³⁾ regroupe les données éparses de cartographes locaux ou de mappemondes plus ambitieuses pour produire une "description de toute la Gaule" qui sera le fond sur lequel d'autres s'appuieront. Diverses cartes seront ainsi publiées et compilées jusqu'à la fin du XVII^e siècle par la famille SANSON⁽⁴⁾. En Hollande, SNELLIUS⁽⁵⁾ réalise une importante triangulation, dont la cartographie n'est pas le but premier, puisqu'il s'agit de réaliser d'abord une mesure du méridien terrestre.

Le milieu du XVIII^e siècle est l'aube du développement scientifique. On ne saurait plus se satisfaire des représentations grossières, fussent-elles soustendues de préoccupations mathématiques. Par ailleurs, les appareils de mesure se perfectionnent. Philippe DANFRIE construit en 1597 le premier graphomètre, alors que l'anglais DIGGES a proposé en 1571 un théodolite, l'un et l'autre appareil permettant de mesurer les angles sur le terrain pour les reporter ensuite sur un plan. Le problème des longitudes se résoud petit à petit, soit au travers du perfectionnement des observations astronomiques, soit au moyen de la conservation de l'heure du méridien de référence, comme le proposera HUYGHENS⁽⁶⁾.

(1) Gemma Frisius, Mathématicien et géographe flamand né en 1508 .

(2) Gerhardt Kremer dit Mercator (1512-1594).

(3) Oronce Fine, mathématicien briançonnais (1494-1555).

(4) Dont Nicolas Sanson (1600-1667) "cartographe du roi" Louis XIV.

(5) Snellius (1580-1626).

(6) Christiaan Huyghens (1629-1695).



Carte de l'atlas de MERCATOR
(1595)

Si les moyens tant théoriques que pratiques sont là, les esprits sont aussi prêts, puisque certaines réticences s'estompent et que, par exemple, le système copernicien est adopté. La composition de mappemondes précises se heurte encore aux limites de l'exploration, mais l'établissement de cartes couvrant une région ou la totalité d'un pays est alors possible.

2) L'ABBE PICARD

L'idée d'établir la première carte à l'échelle d'un pays tout entier, revient à COLBERT. Soucieux de la bonne gestion du royaume, le ministre avait depuis longtemps manifesté sa volonté de disposer de cartes exactes, et certaines de ses instructions en font foi⁽¹⁾. On peut d'ailleurs penser que cette idée n'est pas absente de la fondation en 1666 de l'Académie Royale des Sciences. Sans doute, ses premiers membres étaient-ils des théoriciens⁽²⁾, avant tout mathématiciens et (ou) astronomes, cependant la volonté d'y inclure le célèbre Christian HUYGHENS manifeste le désir de voir les travaux de cette académie servir la gloire, mais aussi la grandeur matérielle du royaume. En 1668 CARCAVI, familier et porte-parole de COLBERT, invitait concrètement ses collègues "à faire des cartes géographiques de la FRANCE plus exactes que celles qui ont été faites jusqu'ici, et ... (à prescrire)... la manière dont se serviraient ceux qui seront employez à ce dessein"⁽³⁾.

Cette invitation date du 23 mai 1668, et, dès la séance suivante, le problème est à l'ordre du jour. Il est question d'abord de cartographier la région de PARIS et de faire de cet essai un laboratoire de moyens et de méthodes. Les instruments nécessaires sont définis et leur construction planifiée. CARCAVI recrute un topographe, VIVIER⁽⁴⁾ et ce dernier, dès le 1er Aout 1668 apporte à l'Académie un commencement de carte, exécuté sous la surveillance de ROBERVAL et de PICARD⁽⁵⁾.

Il faut s'arrêter un instant sur ce dernier personnage, moins connu que d'autres savants du XVII^e siècle, mais qui contribua d'une façon certaine au développement du savoir scientifique de son époque⁽⁶⁾. Né le 21 juillet 1620 à LA

(1) GALLOIS : "l'Académie des Sciences et les origines de la carte de CASSINI" in les "Annales de géographie", n° 99-100 -1909 (p. 194). Ces deux articles forment une étude exhaustive des origines de la première carte de FRANCE.

(2) AUZOUT, BUOT, CARCAVI, FRENICLE, HUYGHENS, PICARD, ROBERVAL.

(3) Registres de l'Académie III p. 25.

(4) Ou DU VIVIER suivant les sources.

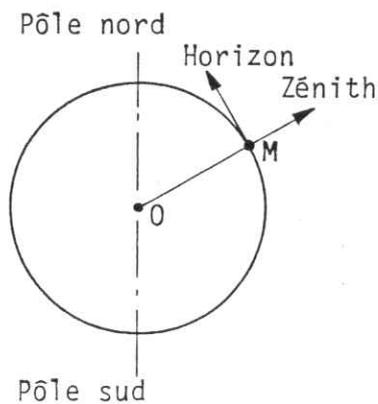
(5) Cf GALLOIS p. 197, ouvrage cité.

(6) A la suite du colloque réuni à PARIS les 12 et 13 octobre 1982 autour du thème "Jean PICARD et les débuts de l'astronomie de précision au XVII^e siècle".

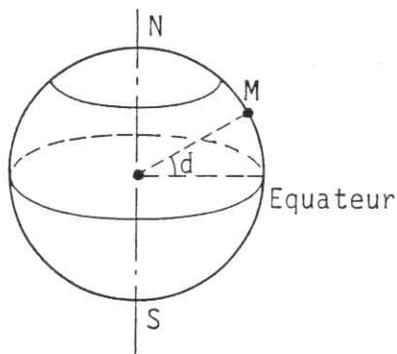
Les éditions du CNRS ont publié en 1987 les actes de ce colloque, réunissant 17 articles dont certains concernant la contribution de PICARD et à l'élaboration de la carte de France.

LATITUDE ET LONGITUDE

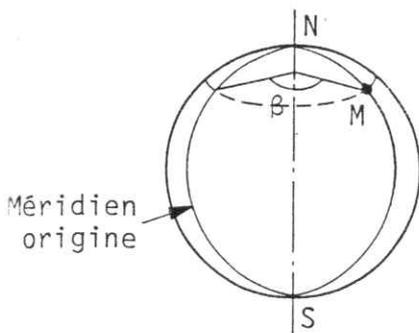
Il n'est peut-être pas inutile de rappeler les définitions, élémentaires de la latitude et de la longitude d'un point M de la surface terrestre.



OM est la verticale de M
Si cette verticale est prolongée vers le ciel, on détermine le zénith du lieu.
L'horizon se situe dans le plan tangent à la surface terrestre en M.



La latitude de M est l'angle α formé par la verticale de M et le plan de l'équateur.
(latitude nord de 0° à 90° et de même latitude sud)

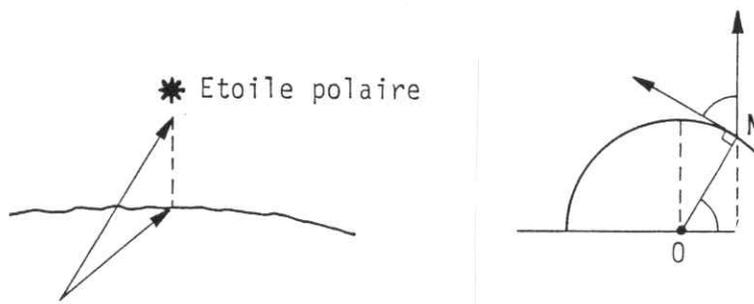


La longitude de M est l'angle β entre le plan méridien passant par M et le plan du méridien d'origine.
(longitude ouest de 0° à 180° , et de même longitude est)

LATITUDE ET LONGITUDE

Comment connaître la latitude d'un lieu ?

Dans l'hémisphère nord, on vise avec un appareil adéquat, l'étoile polaire de façon à mesurer l'angle que forme la direction de cette étoile avec le plan de l'horizon. En fait on mesure plutôt l'angle formé entre cette direction et la verticale du lieu, le complémentaire de ce dernier est la latitude du lieu.



En effet l'étoile polaire est tellement éloignée, qu'il est possible de la considérer à l'infini, si bien que la visée d'un point M détermine soit une parallèle à l'axe des pôles, soit une perpendiculaire à l'axe de l'équation.

Comment connaître la longitude d'un point ?

Il faut en principe comparer l'heure locale (vrai) à l'heure au même instant sur le méridien d'origine. Une différence d'une heure correspond à 15° de longitude.

FLECHE, JEAN PICARD est le fils d'un libraire qui fournit le collège des Jésuites de la ville. C'est dans cet établissement qu'il fait ses études jusqu'en 1637. Sa vie est peu connue, jusqu'à la fondation de l'Académie Royale des Sciences ; on sait cependant que'en 1643, il assiste GASSENDI⁽¹⁾ dans une observation d'éclipse solaire. Par ailleurs, PICARD a acquis une "maîtrise es arts" à l'Université de PARIS, a été ordonné prêtre et pourvu de bénéfices ecclésiastiques en 1650. Ses activités sont toutefois suffisamment notables, en particulier ses observations astronomiques suffisamment pertinentes, pour qu'elles soient reconnues et deviennent objets d'éloges. En 1661, par exemple, l'Abbé PICARD participe à l'observation de taches solaires⁽²⁾. Il semble qu'en 1664, quelques ennuis avec les jésuites l'obligent à s'éloigner de PARIS. Cette disgrâce ne dure pas, puisque, de retour dans la capitale, il est retenu pour faire partie du noyau fondateur de l'Académie Royale des Sciences en 1666.

PICARD doit cette distinction aux travaux menés avec AUZOUT⁽³⁾ en astronomie, particulièrement dans l'amélioration des instruments de mesure. Si la lunette astronomique était utilisée depuis GALILEE, la mesure de la position des planètes était réalisée au moyen d'astrolabes dont les alidades, parties mobiles, étaient munies de pinnules, c'est-à-dire de pièces métalliques montées d'équerre à chaque extrémité de l'axe, et percées de façon à pouvoir viser à l'oeil nu. L'idée de PICARD a été de remplacer ces alidades par des lunettes astronomiques, munies de réticules, fils en croix disposés sur les lentilles, et à démontrer que le centre du réticule coïncidait avec l'objet visé. De même, il munit ces appareils, de micromètres⁽⁴⁾, permettant dans un premier temps de mesurer le diamètre des objets stellaires, et dans un second temps d'affiner la visée et de fournir un premier matériau pour traiter les inévitables erreurs de mesure. L'Académie lui donnera le moyen de perfectionner ces instruments.

Pour établir la carte commandée par l'Académie à VIVIER, PICARD s'est attaché durant l'année 1668, à l'Est de PARIS, à mesurer une longueur de 6000 toises⁽⁵⁾, sensiblement orientée Nord-Sud. Cette base va servir, sans doute,

(1) GASSENDI (1592-1655) philosophe et astronome français.

(2) PICARD relate ces observations dans des correspondances conservées avec quelques savants étrangers, tels HEVELIUS à Dantzic et CASSINI (1611-1687).

(3) AUZOUT (1622-1691).

(4) Le premier date de 1665 et est dû à AUZOUT.

(5) Un peu plus de 11 km.

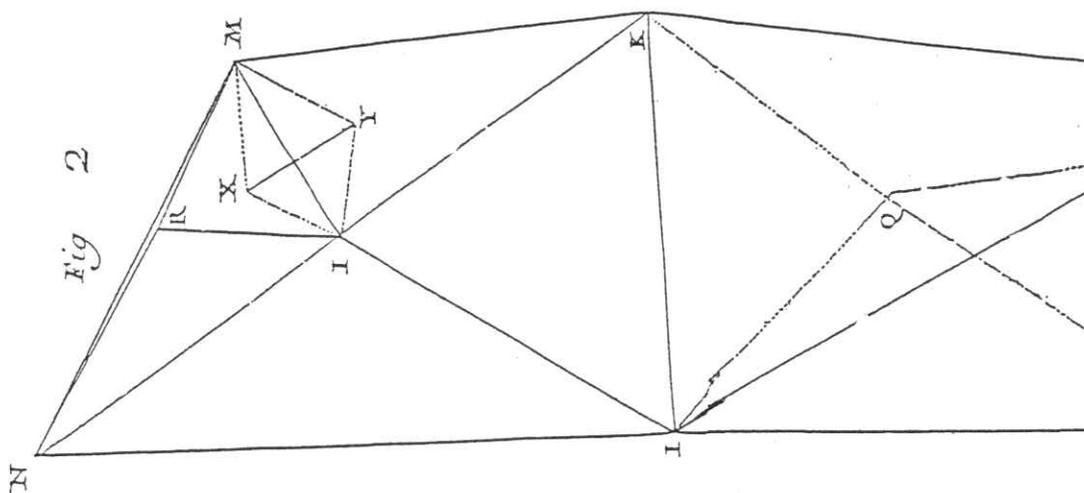
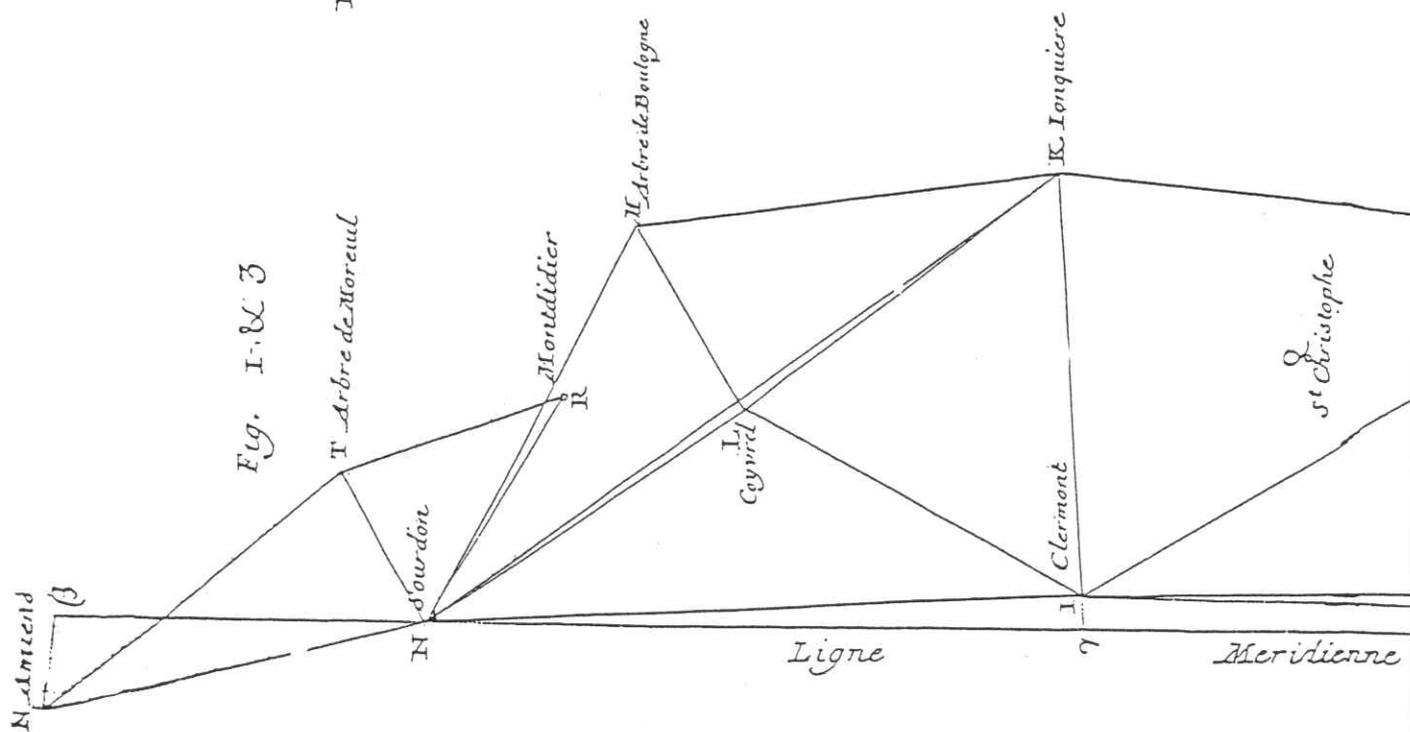
au levé des environs de la capitale, mais également, ce qui explique son orientation, sera le début d'une triangulation qui permettra de mesurer la longueur du degré de méridien, c'est-à-dire la dimension de la terre. Bien sûr, ces 6000 toises entre VILLEJUIF et JUVISY ne suffiront pas, mais la visée du clocher de BRIE COMTE ROBERT à partir de chaque extrémité, puis la visée à partir de ce dernier des deux extrémités de la base, pour vérification, permettront d'avoir un premier triangle. Le calcul donne les deux côtés, à partir desquels, seront construits d'autres triangles et, de proche en proche, de mesures angulaires en mesures angulaires, la méthode permettra d'évaluer une distance de près de 60 000 toises entre SOURDON et MALVOISINE. La détermination des latitudes de ces deux localités donnera alors l'écart angulaire correspondant à cette distance.

A partir des triangles, VIVIER peut établir une première carte. Comme on le voit les travaux et préoccupations des sept premiers membres de l'Académie, qui avaient en commun l'astronomie, s'accordent aux désirs de COLBERT. De plus, on fait venir d'Italie, GIAN DOMENICO CASSINI⁽¹⁾ dont on avait remarqué le pertinent ouvrage indiquant comment obtenir la longitude à partir de l'observation des satellites de JUPITER. A peine arrivé à Paris, CASSINI est intégré à l'Académie et participe à ses travaux dès 1669. Le personnage et ses descendants seront le fil conducteur de l'histoire de la carte de FRANCE. Ainsi il accompagne PICARD lors d'un voyage d'inspection lors de l'été 1669, sur les lieux des relevés de la carte des environs de PARIS, voyage dont PICARD rend compte à l'Académie le 31 juillet, dans un rapport particulièrement important, puisqu'il indique que :⁽²⁾

"Oultre que par ce moyen on auroit une carte la plus exacte qui ait encore esté faicte, on en tireroit cet avantage de pouvoir déterminer la grandeur de la Terre avec plus de certitude que tous ceux qui y ont travaillé iusques icy tant a cause de la grande commodité des lieux que pour la facilité qu'on a maintenant de bien prendre les angles des lieux les plus esloignez par l'aide des lunettes d'approche loinctes a un grand instrument bien gradué, tel que celuy dont on se serviroit, lequel donne assez distinctement iusques a un tiers de minute & se peut vérifier a tous

(1) Né dans le comté de Nice en 1625.

(2) Registres de l'Académie avant 1700 vol. p. 126 entre autres.



moments d'une façon très aisée. Nous fismes des l'année passée quelques avances pour ce mesme dessein de la mesure de la Terre : Nous prismes au luste quelques grands triangles et nous mesurasmes exactement une longueur de chemin de prez de 6000. toises, droit & situé selon la ligne méridienne avec deux extremitéz assez remarquables pour estre veües de divers lieux esloignez & si bien placez que par peu de triangles on pourra continuer cette base lusques a plus de 60000 toises, dont on sera presque autant assuré que si on les avoit toutes actuellement mesurées. Après avoir ainsy déterminé une longueur sur Terre il en faudroit trouver le rapport avec le Ciel par la différence des hauteurs de pole des deux Extremitéz seulement, ou plus tost par la difference des hauteurs meridienes d'une mesme estoile proche du Zenith. (...)

On pourroit ainsy déterminer sur Terre la grandeur d'un grand degré, laquelle on exprimeroit ou par toises a l'ordinaire ou par pas Geometriques : mais pour donner une mesure qui demeurast a la posterité et qui ne dependist point de la nostre particuliere ie voudrois me servir de la longueur qui est necessaire pour un pendule a secondes de temps determinant combien de fois cette longueur seroit contenue dans un grand degré sur terre, et consequemment a la circonference et au Diametre; de sorte que la mesure de la grandeur de la Terre premierement trouvée par la difference des hauteurs de poles, et par rapport au Ciel, seroit attachée au mouvement Journalier comme a un original commode & exposé a toutes les nations"⁽¹⁾.

La carte que mentionne PICARD paraîtra en 1678 sous le titre :

"CARTE PARTICULIERE DES ENVIRONS DE PARIS
PAR MRS DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES".

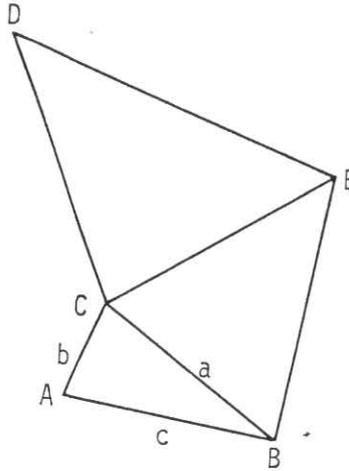
Elle comporte 9 feuilles à l'échelle de 1/86400⁽²⁾ et s'étend de Mantes à la Ferté sous Jouarre. Les travaux commencés par VIVIER seront poursuivis, puisque d'autres cartes seront présentées en 1679, 1681 et 1685, s'appuyant toujours sur la triangulation de PICARD et couvrant une région de plus en plus grande.

(1) On remarque que PICARD a déjà le souci d'un étalon universel pour la mesure des distances

(2) Soit une ligne pour cent toises.

TRIANGULATION

Le principe de la triangulation est très simple et repose sur une formule de trigonométrie élémentaire.



Les points A, B, C, D, E sont des points faciles à repérer : cloches, moulins, sommets ; à l'aide d'un instrument adéquat mis successivement en station en A, B, C, on mesure les trois angles A, B, C du triangle A, B, C.

La distance AB ayant été mesurée de façon précise, on utilise la formule :

$$\frac{a}{\sin \widehat{A}} = \frac{b}{\sin \widehat{B}} = \frac{c}{\sin \widehat{C}}$$

pour calculer a et b. CB est alors connu et on réitère le procédé sur le triangle CBE ; et ainsi de suite.

On remarquera que les trois angles de chaque triangle sont mesurés, pour plus de sécurité. Par ailleurs, la mesure d'une longueur, la plus délicate, n'est effectuée qu'une fois.

Cette longueur est appelé BASE.

A cette époque PICARD et CASSINI déterminent les coordonnées géographiques, longitude et latitude, de nombreuses localités françaises. Les résultats devant être le plus précis possible, et compte tenu des difficultés tant de déplacement que de mesure, on peut comprendre que le travail avance lentement. De son côté COLBERT réitère à l'Académie son invitation à faire des cartes précises du royaume, en particulier des façades maritimes. En 1679 les académiciens sont sur les côtes atlantiques. En particulier PICARD, en compagnie de DE LAHIRE ⁽¹⁾ lèvent les côtes de Bretagne et déterminent la position des ports, puis le second continue seul vers le nord, jusqu'à Dunkerque. Les observations et mesures faites lors de cette expédition conduisent à l'élaboration d'une carte des côtes de France présentée au Roi et à l'Académie en 1684. Cette carte était superposée à l'ancienne carte de SANSON et présentait d'importantes rectifications, ce qui aurait fait dire à Louis XIV que "ces messieurs de l'Académie... m'ont enlevé une partie de mon royaume"⁽²⁾.

Toutes ces opérations avançaient malgré tout en ordre dispersé. Par ailleurs, les méthodes étant devenues accessibles à un plus grand nombre⁽³⁾, certaines autorités locales entreprennent de cartographier leur région. Il importait de rassembler ces initiatives, ou plutôt de les coordonner. En février 1681, PICARD présente à l'Académie et à COLBERT un court mémoire⁽⁴⁾ prescrivant la marche à suivre pour réaliser cette première carte de France rigoureusement à l'échelle suivant le vœu du ministre, comme des académiciens. Tout le monde trouvant son compte dans ce projet, sa réalisation commençait d'être entreprise lorsque PICARD mourut, fin 1682. CASSINI cependant poursuivait la chaîne des triangles établie en 1667 vers le sud (jusqu'à Bourges) alors que DE LAHIRE accomplissait le même travail dans la direction opposée (vers Dunkerque).

La mort de COLBERT en 1683 interrompait l'ouvrage. Son successeur LOUVOIS⁽⁵⁾ avait d'autres idées pour occuper les académiciens, et on rappela les deux équipes, pour les charger, par exemple de travaux de nivellement⁽⁶⁾. Malgré le décès de LOUVOIS en 1691, les tentatives de CASSINI auprès de

(1) Philippe DE LAHIRE (1648-1718). Il était le fils du peintre Laurent DELAHIRE.

(2) Propos rapportés par FONTENELLE. Cette carte fut publiée en 1693.

(3) Cf ouvrages de DE LAHIRE, de CLERMONT, et d' OZANAM vulgarisant l'art des arpenteurs.

(4) Voir chapitre suivant.

(5) LOUVOIS (1639-1691).

(6) Cf GALLOIS, ouvrage cité, DE LAHIRE fut chargé de rechercher de nouvelles possibilités d'alimenter en eau le Château de Versailles, par mesure des différences de hauteur (nivellement) entre le cours de l'Eure et les bassins du château.

l'Académie ne relancèrent pas cependant le projet. La France était alors engagée dans de nombreux conflits qui grevaient le budget royal ; on manquait de moyens et les activités des académiciens, quelles que soient leurs spécialités connurent une parenthèse d'une dizaine d'années.

3) DES METHODES ET DES MOYENS

La triangulation nécessite la mesure d'au moins une longueur à la surface de la terre, c'est-à-dire d'au moins un côté d'un triangle, les autres s'en déduisant de proche en proche par calcul. Le premier objectif de PICARD restait l'évaluation de la longueur du méridien terrestre, et pour cela les académiciens choisirent de mesurer la distance séparant VILLEJUIF et JUVISY, au sud-est de Paris, les conditions topographiques leur paraissant favorables.

La manière concrète de mesurer cette base est détaillée dans l'ouvrage paru en 1671 "DE LA MESURE DE LA TERRE"⁽¹⁾ article troisième qui est reproduit ici. On jugera de quels soins PICARD entoure cette mesure, d'environ 11 kilomètres, réalisée à l'aide de perches de bois d'a peu près 8 mètres. L'unité utilisée, la toise est décrite avec précision un peu plus loin, au début de l'article quatrième, cette référence est également l'objet d'attentions : elle sera matérialisée à l'Observatoire⁽²⁾ dont CASSINI a pris la direction.

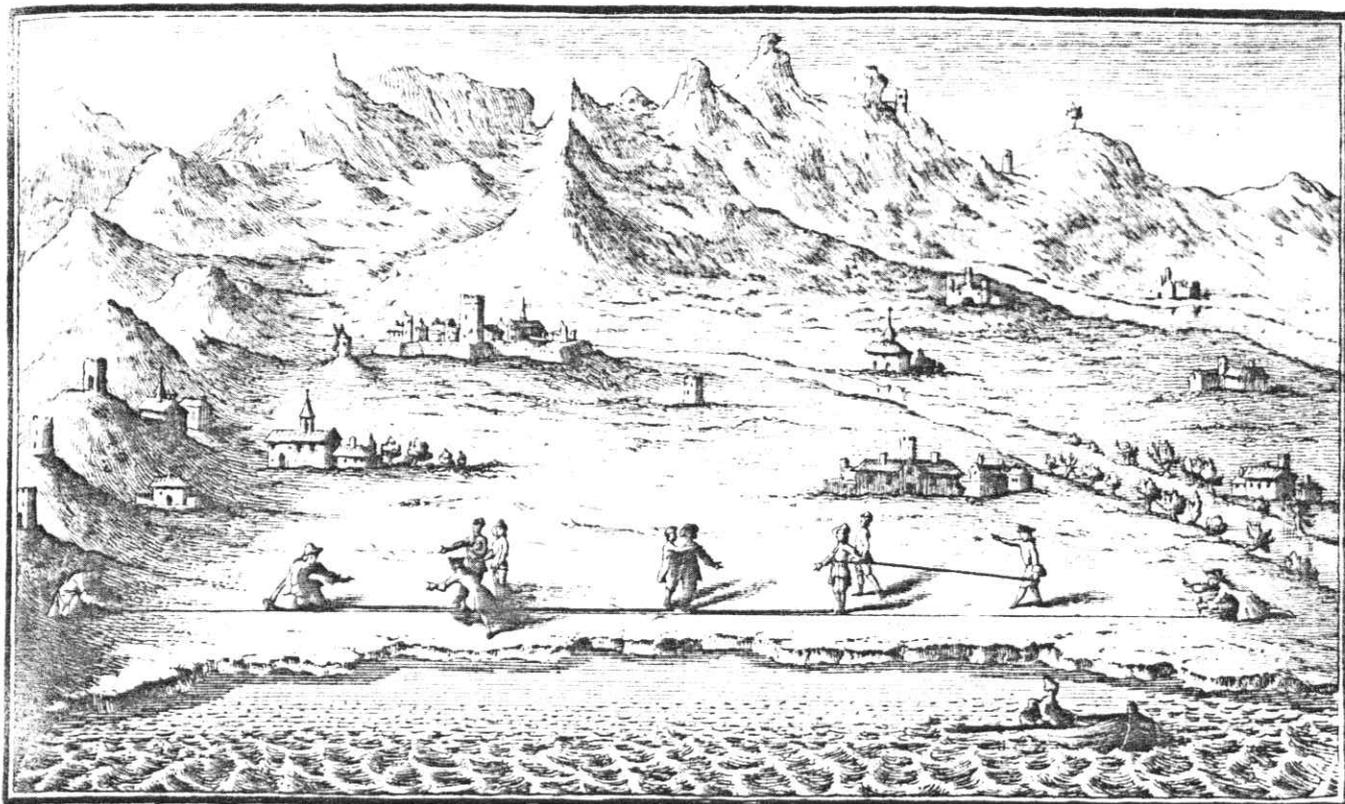


Planche issue de la "Mériidienne de Paris" CASSINI DE THURY 1744 p. 119.

(1) Le texte utilisé est repris de l'édition de 1740, qui fait suite, dans le même volume à l'ouvrage de MAUPERTUIS "Degré du méridien entre Paris et Amiens". Le texte de PICARD a été plusieurs fois réédité, en particulier dans les "Mémoires de l'Académie".

(2) Elle sera figurée par deux encoches dans l'un des murs de l'Observatoire, permettant de vérifier toute perche d'une toise.

ARTICLE TROISIÈME,

DANS le dessein que l'on s'étoit proposé de travailler à la mesure de la Terre, on a jugé que l'espace contenu entre SOURDON en Picardie, & MALVOISINE dans les confins du Gâtinois & du Hurepoix, seroit très-commode pour l'exécution de cette entreprised; car ces deux termes qui sont distans l'un de l'autre d'environ trente-deux lieues, sont situés à peu près dans un même Méridien, & l'on avoit sçu par plusieurs courses faites exprès, qu'ils pouvoient être liés par des Triangles, avec le grand chemin de Villejuive à Juvisy, lequel chemin étant pavé en droite ligne sans aucune inégalité considérable, & d'une longueur telle qu'on verra ci-après, est propre pour servir de base fondamentale à toute la mesure qu'on y avoit entreprised.

Pour mesurer actuellement la longueur de ce chemin, on choisit quatre

bois de pique de deux toises chacun, qui se joignant à vis deux à deux par le gros bout, faisoient deux mesures de quatre toises chacune.

L'ordre que l'on garda en mesurant, fut que lorsqu'une des mesures avoit été posée à terre, l'on y joignoit l'autre, bout à bout le long d'un grand cordeau; puis on relevoit la premiere, & ainsi de suite: & pour compter avec plus de facilité, on avoit donné dix fiches à celui des Mesureurs, qui s'étoit rencontré la premiere fois à la tête des deux mesures, lequel devoit laisser une fiche à chaque fois qu'il poseroit sa mesure à terre: ainsi chaque fiche valoit huit toises; & quand les dix fiches avoient été relevées on marquoit 80 toises.

C'est ainsi qu'on a mesuré deux fois la distance depuis le milieu du moulin de Villejuive tout le long du grand chemin jusqu'au Pavillon de Juvisy, laquelle distance a été trouvée de 5662 toises cinq pieds en allant, puis de 5663 toises un pied en revenant: mais comme

l'on n'espéroit pas pouvoit approcher plus près de la justesse, on a parragé le différend, s'arrêtant au compte rond de 5663 toises pour la longueur de la ligne, ou base fondamentale sur laquelle nous avons établi tous les calculs ci-après, outre que sur la fin de l'ouvrage, nous avons vérifié le tout par une seconde base de 3902. toises actuellement mesurée comme la premiere, en quoi nous aurons sans doute beaucoup d'avantage par-dessus ceux qui nous ont précédés; car Snellius ayant commencé par une distance mesurée de 326 verges 4 pieds mesure de Rhin, qui font 630 de nos toises, s'est ensuite réglé sur une qui n'éroit que de 87 verges de Rhin, ou 168 toises, & le Pere Riccioli a fondé toute sa mesure sur une base de 1088 pas de Bologne, ou environ 1064 toises de Paris.

Sur le terrain, la méthode qui consiste à poser des perches au sol, bout à bout, est loin d'être fiable. Il faudra la répéter et comparer les résultats. Par ailleurs la conformité à l'unité de référence n'est pas d'une précision absolue. Tous ces inconvénients ne seront pas hélas sans conséquences.

A partir de cette première mesure, les académiciens déterminèrent une chaîne de triangles permettant de calculer la distance entre Sourdon en Picardie et Malvoisine à la limite du Gatinois. Cette triangulation est restée célèbre et fut reprise plusieurs fois. Jacques CASSINI⁽¹⁾ fils de Jean Dominique CASSINI la décrit en détail dans un mémoire présenté à l'Académie en 1718⁽²⁾ ; le deuxième paragraphe du chapitre II est reproduit ici et indique le cheminement mathématique qui a permis, d'évaluer cette distance d'environ 133 km⁽³⁾.

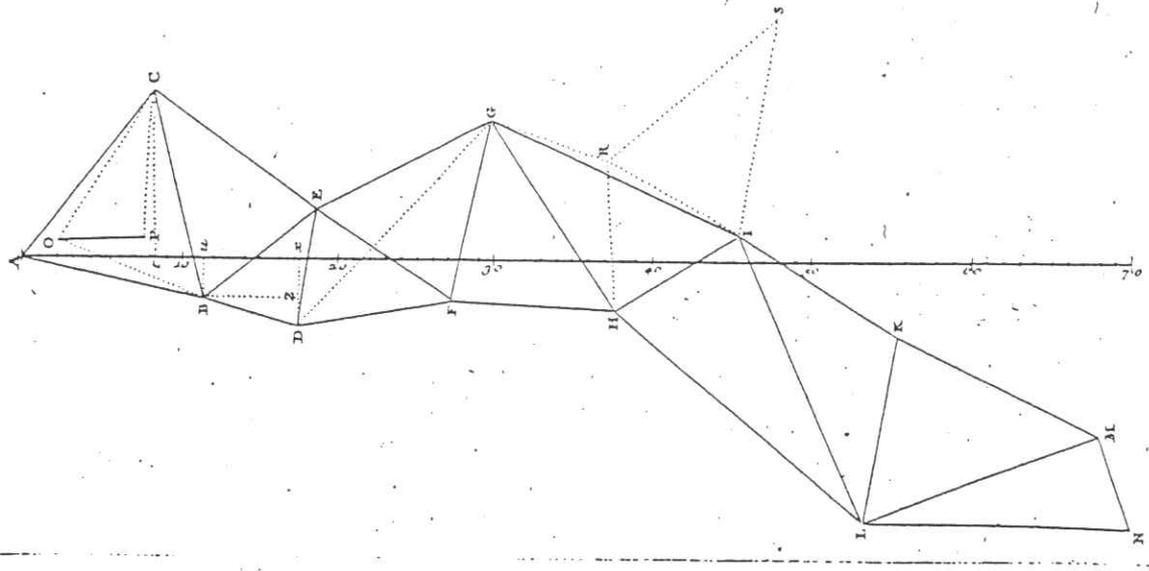
On remarquera que la base utilisée est celle que l'ABBE PICARD avait mesurée le siècle précédent. Sans doute toute la triangulation est-elle contrôlée sur une seconde base (dans la plaine du Roussillon), mais les inexactitudes que révèle cette deuxième mesure de longueur vont être imputée aux imprécisions et non à une quelconque faute⁽⁴⁾ dans l'évaluation des bases. De toute façon J. CASSINI ne mentionne ici que des mesures angulaires dont on conviendra qu'elles sont les plus faciles à exécuter. Il faut de plus remarquer que les opérateurs choisissent de préférence des triangles proches de l'équilatéral, pour pouvoir compenser équitablement les valeurs des angles ; et enfin on remarque que plus les côtés sont grands (dans la mesure du visible) plus les visées sont fines, donc les angles précis.

(1) Jacques CASSINI (1677-1756) avait à cette époque succédé à son père à la direction de l'Observatoire.

(2) Suite des mémoires de l'Académie Royale des Sciences, année 1718.

(3) Exactement 68430 toises.

(4) On distingue en Topographie l'erreur, due à l'imprécision de la mesure (imprécision de l'instrument ou due à l'observateur) de la faute, faute de calcul ou de relevé.



I.
Méthode que l'on a pratiquée pour déterminer la grandeur des côtés des Triangles de la Méridienne.

Pour déterminer en Toises la longueur des côtés des Triangles de la Méridienne, on s'est servi de la distance OP (Pl. 3.) entre le milieu du Moulin de Villejuive & le plus proche coin du Pavillon de Juvisy, que M. Picard avoit mesurée actuellement avec beaucoup de soin, de 5663 toises du Châtelet de Paris. Il observa de l'extrémité O de cette base, l'angle COP entre le gros Clocher de Brie-Comte-Robert & le Pavillon de Juvisy, & de l'autre extrémité P , l'angle entre le même Clocher de Brie-Comte-Robert & le Moulin de Villejuive. Ayant ensuite observé de Brie-Comte-Robert l'angle OCP entre les extrémités de la base, il eût les trois angles du Triangle OPC , ce qui joint au côté OP connu, fait connoître la valeur des côtés OC & PC .

Il observa pareillement des points O & C & du point B qui représente la Tour de Montlhéry, les angles BOC , BCO & CBO du Triangle BOC , dont le côté OC étoit connu, & il eût la longueur du côté BO , distance de la Tour de Montlhéry au terme Septentrional de la base, & du côté BC , distance de la Tour de Montlhéry au Clocher de Brie-Comte-Robert.

C'est cette distance BC , dont l'on s'est servi pour calculer les côtés du premier Triangle de la Méridienne, & les autres successivement sans interruption jusqu'à l'extrémité Méridionale de la France, où l'on a terminé les Triangles par une nouvelle base mesurée actuellement dans la plaine du Rouffillon.

Methode dont l'on s'est servi, pour décrire la situation de la Ligne Meridienne de l'Observatoire, par rapport aux lieux differents compris dans les Triangles.

Pour décrire la situation de la Ligne Meridienne de l'Observatoire par rapport aux Triangles, on a d'abord observé du milieu de la face Meridionale de l'Observatoire, l'angle BAt , que la Tour de Montlhery faisoit avec le point horizontal du Midi, qu'on a trouvé dans le chap. 5. de 1^d 57' 50". On a retranché cet angle de l'angle BAC , que la Tour de Montlhery fait avec le gros Clocher de Brie-Comte-Robert, qui a été observé de 63^d 0' 15", & on a eu l'angle CAr de 51^d 7' 25", dont le complément ACr est de 38^d 57' 35"; & par conséquent au Triangle rectangle ArC , dont le côté AC a été déterminé par le premier Triangle de 13238 toises 4 pieds, & les angles CAr & ACr sont connus, on aura le côté Cr , distance Orientale du gros Clocher de Brie-Comte-Robert à la Meridienne, de 10294 toises 1 pied; & Ar , distance de l'Observatoire à la perpendiculaire tirée de Brie-Comte-Robert sur la Meridienne, de 824 toises 2 pieds.

On trouvera de la même manière, la distance Bu de la Tour de Montlhery à la Meridienne, & la distance Au , de l'Observatoire à la perpendiculaire Bu , tirée de la Tour de Montlhery sur la Meridienne; car dans le Triangle rectangle AuB , dont le côté AB a été déterminé par le premier Triangle de 11756 toises 2 pieds; l'angle BAu , que la Tour de Montlhery fait avec la Meridienne de l'Observatoire, étant connu de 1^d 57' 50", & son complément ABu de 78^d 2' 10", on aura le côté Bu , distance Occidentale de la Tour de Montlhery à la Meridienne, de 2437 toises, & Au , distance de l'Observatoire à la perpendiculaire tirée de la Tour de Montlhery sur la Meridienne, de 11501 toises.

Pour trouver présentement la situation de Torfou &

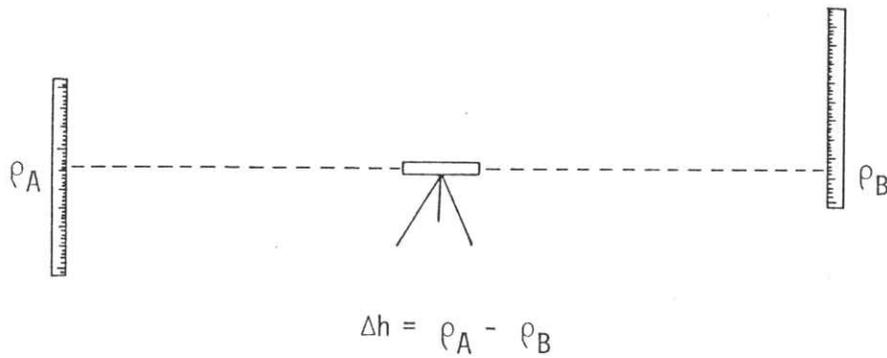
des

les autres lieux successivement à l'égard de la Meridienne, il faut tirer du point B , Bz parallèle à Ax , & perpendiculaire à Bu . On prendra ensuite la somme des angles ABC , CBE & DBE , qui est de 184^d 26' 55", dont on retranchera l'angle ABu de 78^d 2' 10" plus l'angle droit uBz , & l'on aura l'angle DBz de 16^d 24' 45"; & dans le Triangle rectangle BzD dont l'angle DBz est connu & le côté BD de 620 toises 3 pieds, on trouvera le côté Dz de 1757 toises 4 pieds, & le côté Bz de 5967 toises 2 pieds. Ajoutant Dz à Bu qui a été trouvé ci-devant de 2437 toises, on aura Dx , distance Occidentale de Torfou à la Meridienne, de 4194 toises 4 pieds. Ajoutant pareillement Bz ou ux à Au qui a été trouvé ci-devant de 11501 toises, on aura Ax , distance de l'Observatoire à la perpendiculaire tirée de Torfou sur la Meridienne, de 17468 toises 2 pieds.

C'est de cette maniere dont on s'est servi, pour décrire la Meridienne de l'Observatoire par rapport aux Triangles, & déterminer sa longueur en toises. L'on s'est contenté d'en rapporter ici quelques exemples, pour faire connaître la methode que l'on a pratiquée, pour trouver successivement la position de chaque lieu à l'égard de cette Meridienne.

NIVELLEMENT

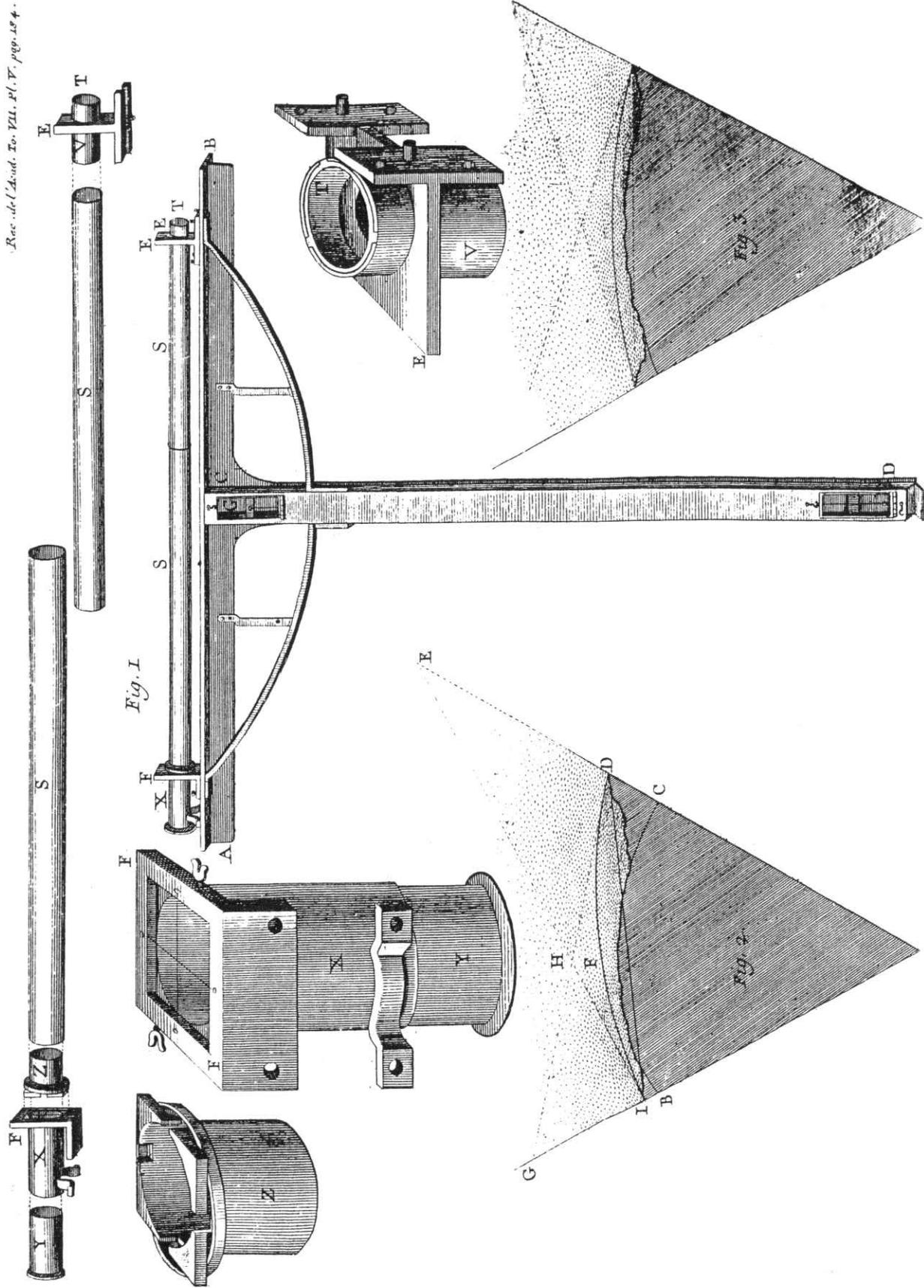
Pour déterminer une différence de niveau entre deux points A et B, on met en station un "niveau" à mi-distance. Cet appareil permet de faire une visée parfaitement horizontale sur une mire placée verticalement successivement en A et B. La différence de lecture sur chacune des mires donnera la différence cherchée.



La planche ci-après reproduit l'appareil utilisé par PICARD. La précision était telle que les terrassements réalisés par VAUBAN montre une dénivellation d'à peine un centimètre au kilomètre.

Si les instruments utilisés aujourd'hui sont plus précis, le principe reste le même.

Cette planche est tirée de l'ouvrage de 1671 "De la mesure de la terre".



Si le processus mathématique est assez simple, la pratique l'est beaucoup moins. PICARD s'est d'abord attaché à la précision des mesures, en demandant la construction d'un quart de cercle à 2 lunettes, équipé d'un micromètre dont le limbe avait environ 1 mètre de rayon. Notre académicien, nous l'avons vu, était un spécialiste de ces appareils, et la description qu'il fait de l'instrument dans la "MESURE DE LA TERRE"⁽¹⁾ est longue et minutieuse.

Nous noterons, sur la planche reproduite ici⁽²⁾ que le limbe représenté à la figure 1 porte deux lunettes d'approche, l'une fixe, l'autre mobile, schématisées par la figure 5. Cette dernière permet de justifier, par un raisonnement géométrique l'exactitude de la visée.

Les figures 2, 3, 4 représentent les pièces qui servent à fixer le quart de cercle sur son support.

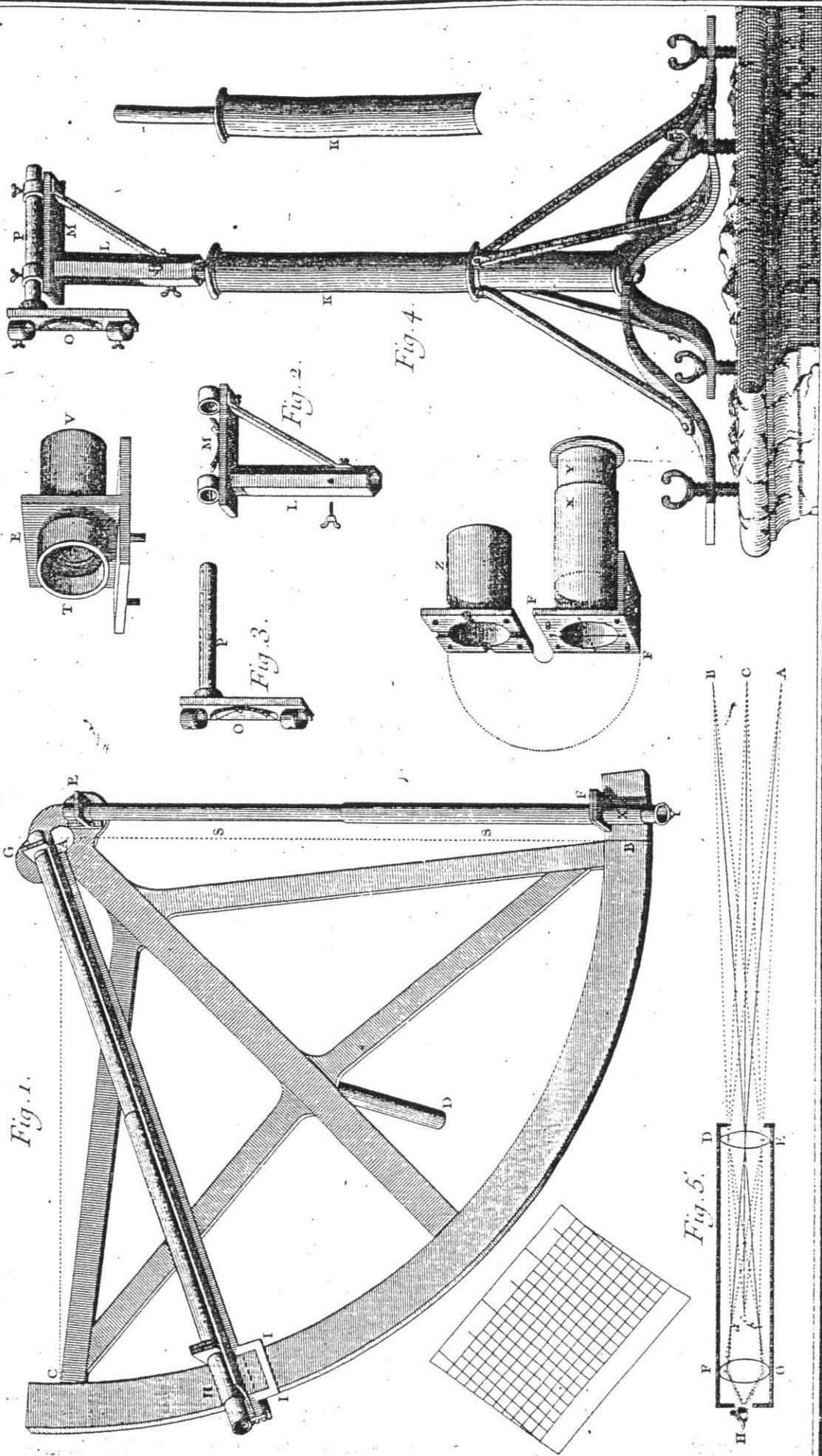
D'après PICARD cet instrument permettait d'avoir une précision de cinq secondes⁽³⁾, mais son principal inconvénient était son encombrement. Les sommets des triangles étant des clochers, des tours, des moulins ou des collines, il était souvent difficile de placer l'instrument au sommet des édifices : aussi fallait-il mettre en place de plus petits quarts de cercle, moins précis. Une autre solution était de se mettre en station dans un endroit proche et de calculer la petite différence angulaire qui en résultait, source supplémentaire d'erreurs. Les repères étaient aussi aléatoires, et, pour peu qu'il s'avérait nécessaire de refaire des mesures, ces repères pouvaient avoir disparu (arbres coupés, moulins reconstruits...) Tous ces inconvénients sont décrits par le petit fils de Jean Dominique CASSINI, César François CASSINI DE THURY⁽⁴⁾ dans un ouvrage paru en 1783 :

(1) Ouvrage cité : article cinquième (pages 21 à 29) de l'édition de 1740.

(2) Planche I de "la mesure de la terre". Ouvrage cité.

(3) La Mesure de la terre. Ouvrage cité Article 5 p. 29.

(4) Né en 1714 à Thury.



Dholland. del. et sculp.

"L'on a toujours fait choix des objets terminés, de manière qu'ils parussent toujours sous la même forme, vus de différens endroits, & particulièrement des clochers, qui sont des objets plus permanens que la plupart des autres, que le temps détruit, sans qu'on les répare : nous avons fait des observations, en 1734, au Moulin de Beru ; en 1736, étonnés de ne plus retrouver le Moulin à l'endroit où il devoit être selon nos triangles, nous soupçonnâmes d'abord des erreurs dans les opérations de 1734 ; mais notre doute fut bientôt levé, en apprenant que ce Moulin n'existoit plus en 1741 ; on avoit déterminé le Moulin, en 1746, en cherchant le même Moulin, on ne le trouvoit plus sous le même angle ; mais à quelques minutes de distance on en découvroit un que nous crûmes le même ; j'envoyai le reconnoître, & j'appris que l'ancien Moulin étoit détruit & remplacé par un autre, à la distance de 41 pieds, qui répondoient à l'angle observé : il n'étoit pas possible, avec les soins que nous prenions dans l'observation des angles, de commettre une erreur de six minutes, qui répondoit aux deux positions du Moulin, & c'est un avertissement pour ceux qui prendront la peine de vérifier nos triangles, toutes les fois qu'ils remarqueront des différences qui ne peuvent provenir que de pareils accidens ; toutes nos opérations sont liées de manière qu'il n'est pas possible de rompre la chaîne."

(1) Ouvrage paru à l'occasion de la publication des premières feuilles de la carte dite de CASSINI comme nous le verrons plus loin. Cet extrait est situé aux pages 9 et 10 (1783).

Le choix des repères étant en partie résolu, il reste que, faire une triangulation en terrain plat ou terrain nivelé, ne donnera pas le même résultat au niveau de la mer et à 1000 mètres d'altitude. PICARD s'en est soucié assez vite, comme en témoigne l'extrait suivant⁽¹⁾ :

"On pourroit dire que comme nous avons mesuré le Globe de la Terre par le sommet des Montagnes, ou par des lieux plus élevés que le reste, il s'enfuit que le degré tel que nous venons de le déterminer, est plus grand que celui que nous aurions trouvé en marchant toujours le long du rivage de la mer, par où il semble que le mesure devrait être beaucoup moindre ; mais afin de voir où cela peut aller, supposons que la ligne de Malvoisine à Sourdon soit dans toute sa longueur également éloignée du bord de la Mer d'environ 35 lieues, & que conformément aux Expériences qui ont été faites sur la Seine, la pente des Rivières qui traversent cette ligne soit d'environ 5 pieds pour lieue, cela fera tout au plus 30 toises de pente jusqu'à la Mer ; & ajoutant environ 50 toises pour la hauteur que notre ligne pourroit avoir au-dessus des Rivières, nous trouverons que cette même ligne seroit élevée d'environ 80 toises au-dessus du niveau de la Mer ; d'où il s'enfuivroit qu'un degré sur Mer seroit plus petit d'environ 8 pieds que celui que nous avons mesuré sur Terre, ce qui ne doit pas être considéré en cette rencontre.

Dans tous les cas, il est important de savoir mesurer les différences de niveau, et de plus il faut distinguer le niveau "apparent" et le niveau véritable, celui qui tient compte de la courbure de la terre. Quand la visée est faite à l'horizon, on se place sur un plan tangent à la surface de la terre et le niveau observé, si la distance est assez grande, peut être assez différent du niveau véritable⁽²⁾. PICARD se servait alors d'une estimation de la longueur du diamètre terrestre et corrigeait s'il était besoin.

Au XVIII^e siècle, César-François CASSINI DE THURY détaillera la méthode⁽³⁾ qui consiste à réduire les angles au plan de l'horizon. La première

(1) Mesure de la terre p. 82-83-84 ouvrage cité

(2) Id. p.88-89 article 12

(3) "La Méridienne de Paris" ouvrage de 1744 pages IX et X, ouvrage cité.

remarque est que les triangles contigus ne sont que rarement dans les mêmes plans et qu'il est nécessaire de réduire le plan de chaque triangle à un plan parallèle à celui de l'horizon ; puis, dans un deuxième temps et "par les règles de la trigonométrie (sphérique!)"il faut corriger les angles observés en tenant compte des différences de "zénith", c'est à dire des différences des perpendiculaires (verticales) entre les points observés. Cependant CASSINI reconnaît que celles-ci n'exigent pas une grande précision :

"Nous savions que lorsque d'un point quelconque A on a observé l'arc de la distance d'un objet connu B au zénith de la station, il faut convertir la distance itinéraire des deux lieux A et B en arc de grand cercle, à raison d'une minute pour 951 toises⁽¹⁾, et qu'ayant retranché cet arc de la distance au zénith observée, le supplément du reste est l'arc de la distance apparente de l'objet A au zénith du lieu B. Suivant cette règle, nous avons conclu les distances au zénith que nous n'avions pu observer".

Mais CASSINI note que le phénomène de réfraction rend le calcul aléatoire et imprécis⁽²⁾ De toute façon, il est nécessaire de penser aux erreurs, qui naissent de l'application d'un théorème de géométrie plane à une surface courbe.

En fait si les visées ne sont pas trop grandes, l'erreur qui en résulte est négligeable. Sur 40000 toises⁽³⁾, l'erreur sur une surface sphérique, nous dit CASSINI DE THURY, serait au plus de 3 toises et demi⁽⁴⁾.

Si la terre est "aplatie" la différence sera faible car l'excentricité de l'ellipsoïde ne sera pas très grande de toutes façons.

(1) D'où 3 423 600 toises pour une estimation du méridien.

(2) En note de son ouvrage, l'auteur rapporte qu'ayant pu observer les "distances" α et β des points A Montagne Sainte Victoire et B Montagne des Houpies, il a été trouvé $\alpha + \beta = 180^\circ 24' 55''$ pour une estimation de l'itinéraire apparent de $28' 55'' \frac{1}{2}$, soit $3' 20'' \frac{1}{2}$ de réfraction.

(3) Soit 77960 m.

(4) 6,8215 m.

Il faut ensuite régler le problème des erreurs qui ne vont pas manquer de venir, soit des instruments de mesure, soit des manipulateurs eux mêmes. En ce qui concerne les instruments de mesure d'angles, l'étalonnage est soigneusement effectué, vérifié, et en général la précision est bien connue. Pour réduire au maximum les erreurs dues aux manipulateurs, le principe est de répéter au maximum la même mesure... puis de faire la moyenne arithmétique des résultats.

Pour appliquer le principe de la triangulation il suffit de connaître deux des angles, le troisième s'en déduisant automatiquement. Cependant, en général, les ingénieurs sont chargés de mesurer les trois angles.

Si la somme s'éloigne trop de 180° , il y a une erreur grossière et la mesure doit être refaite ; sinon la petite différence est répartie sur les trois angles, de sorte que les erreurs qui pourraient en résulter soient minimisées⁽¹⁾. CASSINI DE THURY remarque d'ailleurs que jamais cette erreur n'a excédé une minute⁽²⁾, et que les calculs des côtés n'en étaient pas changés.

Il reste enfin une dernière source d'erreurs, que CASSINI DE THURY mentionne très honnêtement, à savoir les fautes de calcul. Tous les résultats utilisés pour la détermination de la longueur du méridien, comme plus tard pour établir la carte, sont basés sur les calculs des "ingénieurs" et il aurait fallu tous les vérifier. Mais "la plus longue vie d'un calculateur exercé ne suffirait pas pour calculer plus de quarante mille triangles"⁽³⁾ ! En fait, le souci de vérifier, en particulier quand il s'est agi de dresser la carte, a conduit les observateurs de CASSINI à établir plusieurs chaînes de triangles, se contrôlant mutuellement. Les grandes différences, les points mal placés venaient en fait de fautes⁽⁴⁾ techniques aisément repérables. Quand à PICARD, sa réputation témoigne du soin mis à mesurer la triangulation qu'il avait conçue pour évaluer le degré de méridien.

(1) Cette "tricherie" est en fait une pratique courante et actuelle du topographe, qui "compense" ses mesures en supposant erreurs de manipulation ou de visée.

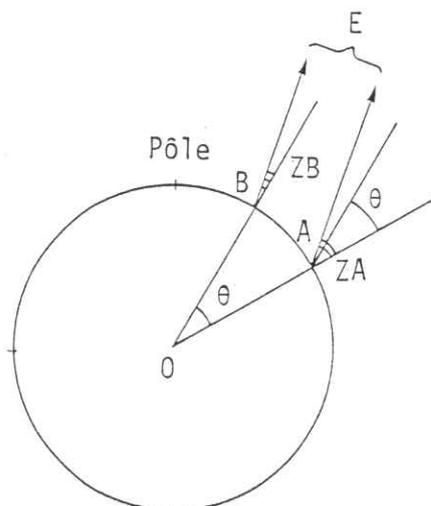
(2) Description géométrique de la France - page 9, ouvrage cité.

(3) P.11 du même ouvrage.

(4) La distinction entre "faute" et "erreur" est toujours d'actualité dans le vocabulaire du topographe.

Il reste alors à évaluer la différence de latitude entre Sourdon et Malvoisine. La position de chacune de ces deux localités est déterminée par la visée d'une étoile, au moyen d'un nouvel appareil également décrit par PICARD et représenté par la planche III de son ouvrage ("de la mesure de la terre").

Il s'agit de comparer cette différence de latitude avec la mesure d'une longueur terrestre. Pour cela on obtient par visée les distances zénithales Z_A et Z_B d'une même étoile E lors de son passage au méridien⁽¹⁾. Leur différence donne l'amplitude astronomique θ qui est la différence cherchée.



Ce genre d'opération sera répétée maintes fois, à l'occasion des travaux concernant le méridien terrestre, mais aussi plus tard lorsqu'il faudra couvrir toute la France de triangles, pour vérifier les mesures, en prenant pour latitude origine celle de l'observation, laquelle aura été déterminée avec soin.

La mesure de la longitude était beaucoup plus délicate en l'absence de chronomètres fiables. C'était pourtant un problème d'importance, pour les cartes bien sûr, mais aussi pour la navigation.

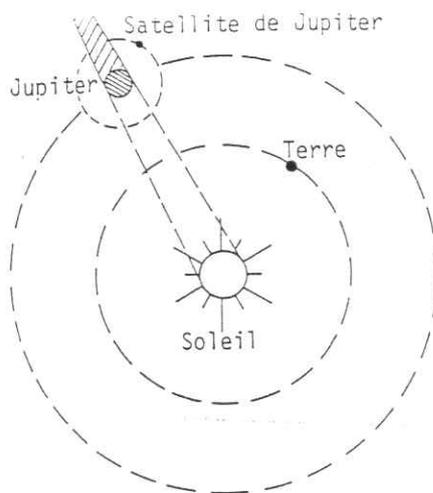
(1) A et B sont supposés bien sûr être sur le même méridien.

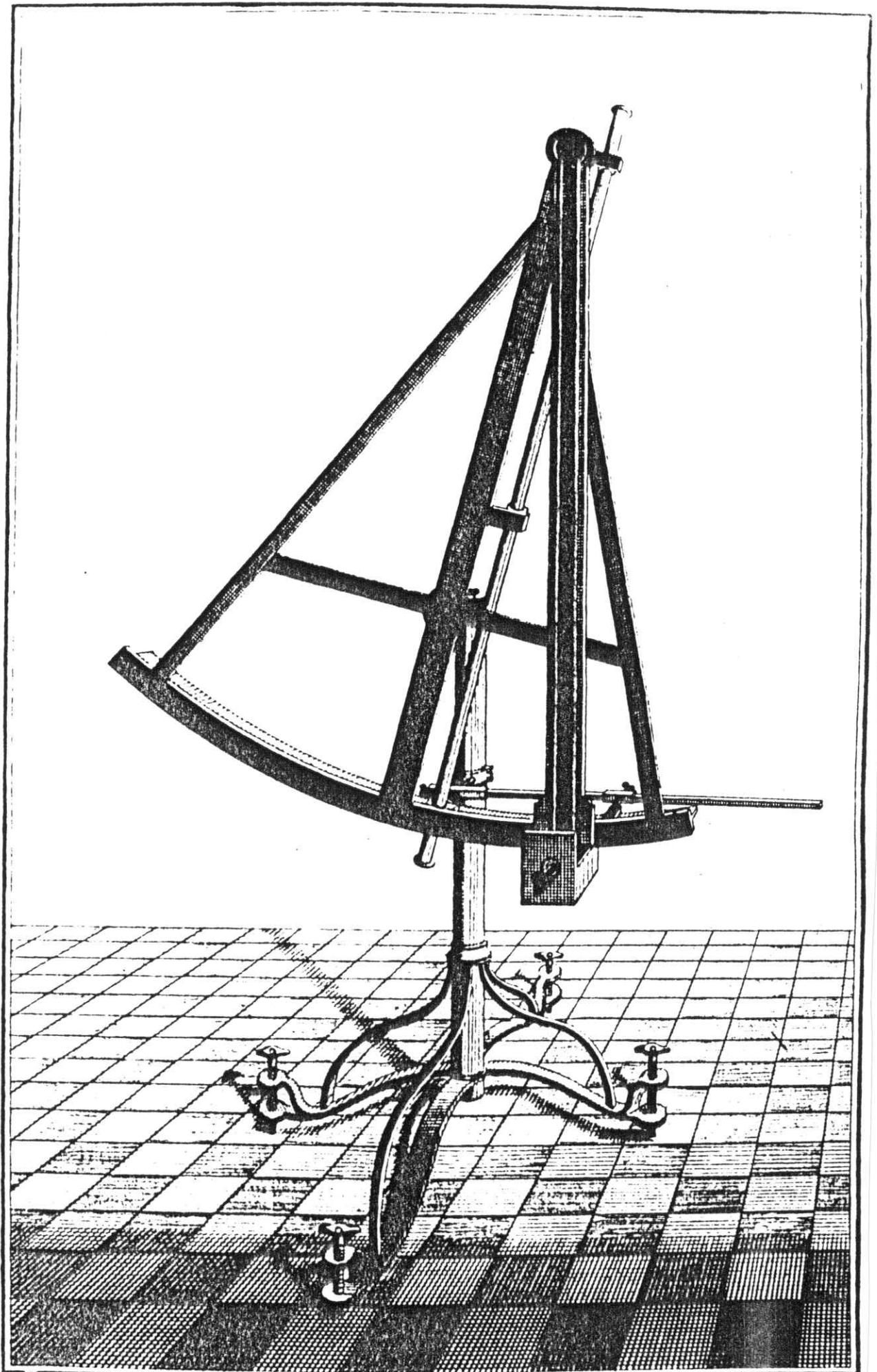
On aurait pu utiliser les éclipses de soleil ou de lune visibles des deux stations dont on voulait connaître la différence de longitude, mais ces éclipses sont peu fréquentes et le début comme la fin de ces phénomènes sont difficiles à saisir avec précision.

Le roi LOUIS XIV avait promis une récompense à qui "trouverait le secret de la longitude". De nombreux inventeurs s'étaient présentés. En particulier furent ainsi mises au point les horloges à pendules, étudiées par HUYGHENS.

Une autre façon de procéder fut mise au point par Jean Dominique CASSINI en étudiant les éclipses des satellites de Jupiter, découverts par GALILEE au début du XVII^e siècle. C'est, dit-on, ce qui le rendit célèbre et le fit connaître à COLBERT ; le principe est le suivant : les quatre principaux satellites de Jupiter sont visibles avec une simple paire de jumelles. Ils gravitent dans un plan voisin de celui de l'équateur de Jupiter et apparaissent presque toujours pratiquement alignés ; l'un manquant la plupart du temps à l'appel à cause du phénomène d'éclipse, ou tout simplement par occultation (disparition derrière la planète).

Le raisonnement de J.D. CASSINI était le suivant : lorsqu'un satellite pénètre dans le cône d'ombre de Jupiter, à l'opposé du soleil, il disparaît de la vue de l'observateur à une heure sidérale donnée au méridien origine qui peut être mise à l'avance en table. Au lieu de longitude inconnue, un observateur pointe cette même éclipse. Connaissant l'heure sidérale locale par son observation et l'heure du méridien origine par les tables, il résout son problème.

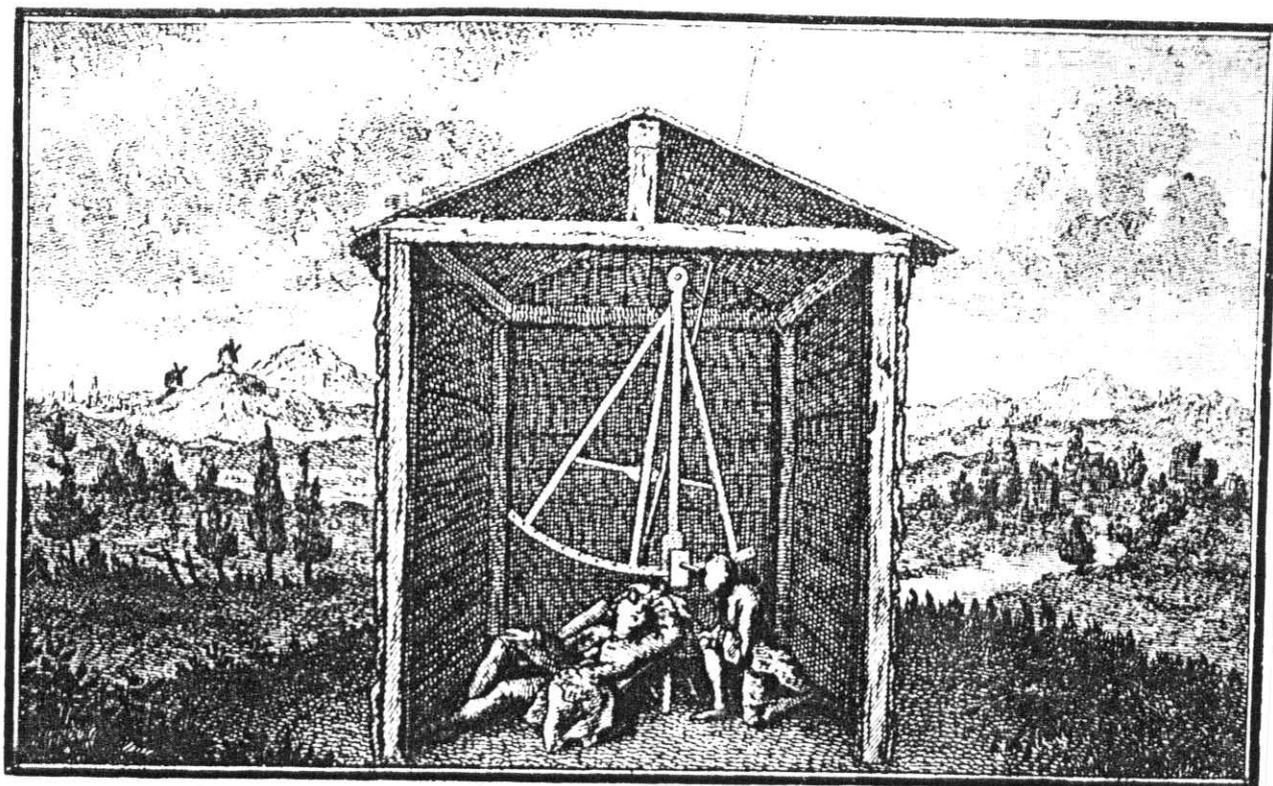




"Secteur", et utilisation de cet appareil pour déterminer longitude et latitude d'un point par visée des "étoiles fixes".

Ces planches sont issues de "La Méridienne de l'Observatoire de Paris", ouvrage publié en 1744 par César-François CASSINI DE THURY.

L'illustration de couverture montre également un secteur, utilisé par l'Abbé PICARD vers 1670.



Dès 1668, J.D. CASSINI, à Bologne, avait publié des tables des occultations et éclipses des satellites de Jupiter ; il les perfectionna après la découverte par son collaborateur ROEMER, de la vitesse de la lumière et donna de nouvelles tables en 1681, 1682 puis 1693 ; l'heure indiquée était celle de l'observatoire de Paris⁽¹⁾.

A partir de cette époque les astronomes ou savants ne manquèrent jamais de déterminer la latitude et la longitude des localités où leurs voyages les menaient, et CASSINI faisait appel à tous les savants pour qu'on lui communiquât les observations sur les satellites de Jupiter. On se rendit compte alors d'erreurs grossières sur les cartes et planisphères. Un planisphère "rectifié" fut entrepris d'ailleurs à l'Observatoire, que l'on devait tenir à jour ; il fut présenté à LOUIS XIV en 1682.

Une nouvelle méthode de mesure des longitudes fut mise au point aux alentours de 1738-1740 et est relatée, entre autres, par CASSINI DE THURY, dans "la Méridienne de l'Observatoire de Paris vérifiée dans toute l'étendue du Royaume"⁽²⁾ ; il s'agit de la méthode "des signaux de feu". Aux deux stations dont on voulait mesurer la différence de longitude, on observait l'heure marquée par l'horloge locale lorsqu'apparaissait la lueur de la déflagration instantanée d'une petite quantité de poudre allumée sur un signal à mi-distance.

Il faut aussi situer le méridien origine : une ordonnance de LOUIS XIII en 1634 avait fixé l'origine des longitudes à l'Île de Fer, à l'Ouest des Îles Canaries. Mais à l'époque on ne connaissait pas avec précision la différence de longitude de l'Île de Fer et de Paris. En 1682, l'Académie avait voulu faire déterminer avec précision cette différence de longitude mais la guerre ne permit pas d'y envoyer une expédition. On se contenta de déterminer la longitude de l'Île de Gorée, voisine du Cap Vert. On trouva 19° 30'. DE LA HIRE, d'après les cartes, avait proposé d'adopter 20° 30' comme longitude de l'observatoire de Paris, estimant la différence entre l'Île de Gorée et l'Île de Fer à 1°. En 1724, une expédition fut envoyée aux Canaries et trouva pour l'extrémité occidentale de l'Île de Fer : 20° 1' 45". CASSINI DE THURY préféra garder la longitude traditionnelle de 19° 30' environ.

(1) Cf Mémoires de l'Académie, avant 1700, vol. VIII, p. 319-505.

(2) Ouvrage cité pages 13-14-15.

Peu avant sa mort (1682) PICARD avait présenté un rapport à COLBERT et aux membres de l'Académie ; son importance vaut qu'il soit reproduit en entier :

"Outre que le dessein de faire la carte du Royaume par provinces de la maniere que l'on a commencé seroit si long a exécuter, qu'il n'y auroit pas lieu d'esperer d'en voir la fin ; il est certain que pour faire un bon assemblage de toutes les pieces apres qu'elles seroient achevées, il en faudroit tousjours venir a un chassis general, au lieu que ce chassis estant premièrement fait, il seroit facile ensuite de le remplir.

Pour la construction d'un tel chassis qui distribueroit tout le Royaume par triangles liez ensemble, on pourroit commencer en faisant une route ou traverse depuis Dunquerque jusqu'a Perpignan qui sont a peu prez dans le meridien de Paris.

Cette route se trouve commencée par ce qui a esté fait pour la mesure de la Terre ; et si apres l'avoir achevé on prenoit les hauteurs du Pole des deux extremitéz, avec le mesme soin que l'on a fait a Sourdon en Picardie, et a Malvoisine en Gastinois, on auroit la grandeur de la Terre huit fois plus précise que celle qu'on a donnée, par ce qu'au lieu d'un degré on en auroit huit qui tous ensemble ne contiendroient pas plus d'erreur qu'un seul.

La grande traverse cy dessus estant finie, on en pouroit faire une qui controurneroit le Royaume suivant les frontieres, et les costes, laquelle seconde route on lieroit enfin avec la premiere.

Il est a noter que le tout consiste a choisir de grands points, j'entends qui servent a former de grands triangles le plus qu'il sera possible, soit que ces points soient des villes, des montagnes ou autres lieux remarquables, tenant aussi pour maxime d'éviter les petits angles moindres que de 20. degrez. On ne prescrit rien touchant le détail, parce que le S^r. Vivier qui sera commis pour cela en est suffisamment instruit."

Ce texte est le véritable testament de l'ABBE PICARD, il inaugure les canevas géodésiques contemporains. Le grand dessein de l'auteur ne se réalisera pas aisément, et la mise en place des triangles de la méridienne ne sera achevée au sud qu'en 1701 et au nord en 1708. PICARD avait déterminé 57060 toises au moyen de cette première triangulation. Sa prolongation vers le sud comme vers le nord donnera d'autres évaluations qui contribueront à créer une controverse sur la forme de la terre, comme nous le verrons.

Cependant, les bases d'une nouvelle carte de France étaient lancées, conjointement avec le souci scientifique de la mesure du méridien terrestre. Au contraire, de tout ce qui s'était fait auparavant, il ne s'agissait plus de cartographier localement, mais d'établir un grand canevas de triangles couvrant toute la France et de remplir peu à peu chacun de ces triangles pour arriver à une vraie "DESCRIPTION GEOMETRIQUE" du royaume.

4) LA MERIDIENNE

Les travaux

En 1700, les Académiciens sollicitent le Roi, et obtiennent de poursuivre les travaux interrompus dix sept ans auparavant. Le 20 Août de la même année, Jean Dominique CASSINI accompagné de son fils Jacques et de quelques autres⁽¹⁾ retrouve les anciens repères établis à Bourges et aux environs, et les utilise pour prolonger la chaîne des triangles vers le sud. Les travaux sont cette fois rondement menés, puisqu'ils se terminent dès 1701 à Collioure. Une nouvelle base est mesurée dans la plaine du Roussillon aux fins de vérification. Celle-ci était de 7246 toises, plus longue de 1583 toises que celle mesurée par PICARD⁽²⁾; elle permit à Jean Dominique CASSINI de calculer le degré moyen de méridien entre Paris et Perpignan.

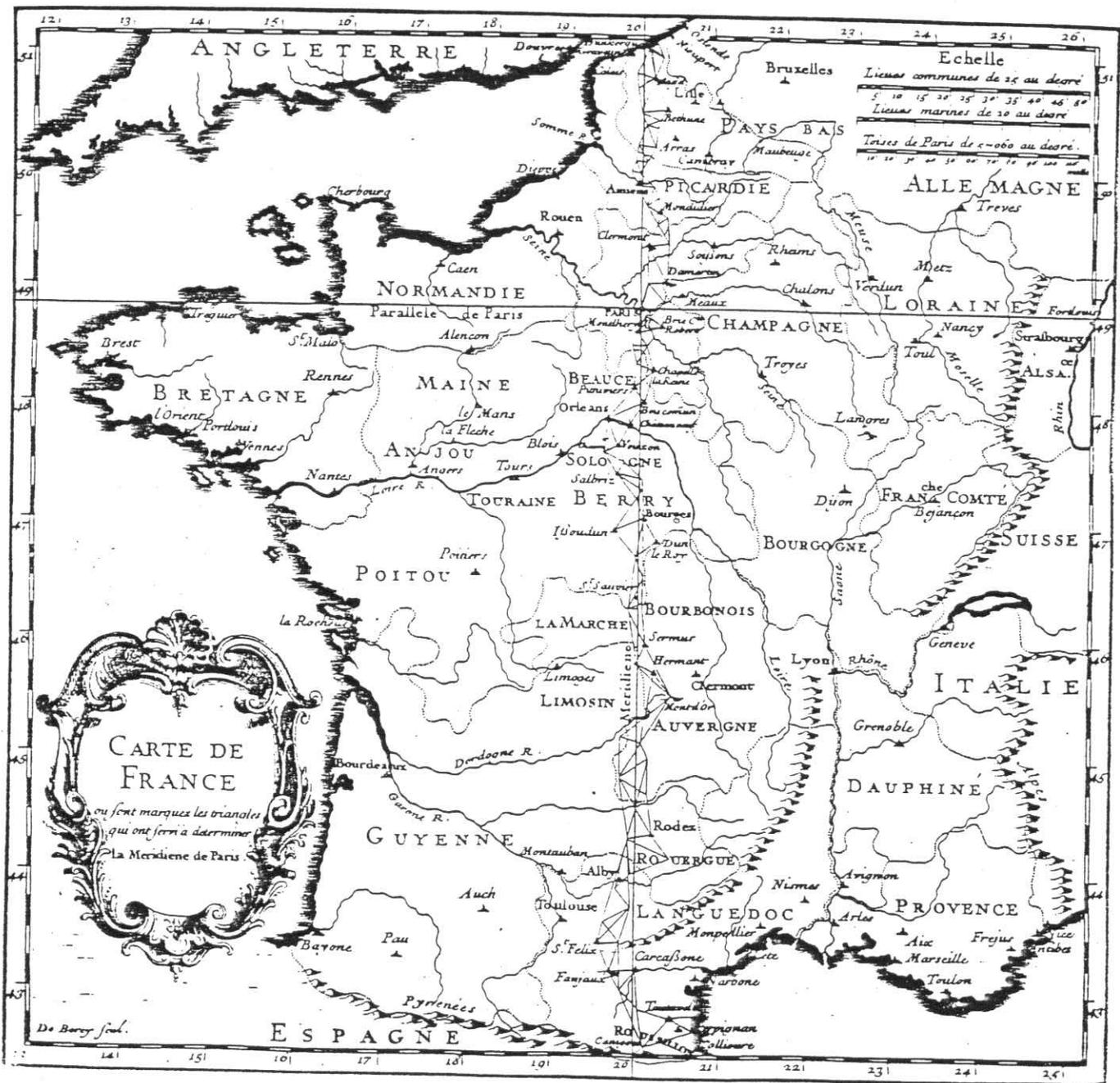
Jean Dominique CASSINI attendait confirmation de sa mesure par l'achèvement des triangles en direction de Dunkerque. Malheureusement, il mourut aveugle en 1712, et si son but n'avait pas été atteint, au moins avait-il, secondant PICARD, puis prenant sa suite, tracé la route menant à la fois à la mesure de la terre et à l'établissement de la carte de France.

Son fils, Jacques CASSINI avait bien l'intention de poursuivre, mais la guerre⁽³⁾ privait à nouveau l'Académie des subsides nécessaires. Ce n'est qu'en 1718 que le Régent autorisait à nouveau la reprise des travaux. A cette occasion la chaîne des triangles fut complétée vers le nord avec l'aide du fils de DE LA HIRE. Une nouvelle base fut mesurée en Flandres. Ces travaux se concrétiseront par deux communications à l'Académie en 1718 et 1720.

(1) Dont CHAZELLES, qui avait été des premiers travaux, cf J. CASSINI "De la grandeur et de la figure de la terre" in Mémoires de l'Académie des Sciences 1718.

(2) Cette mesure de PICARD avait été utilisée par NEWTON car elle confirmait ses calculs concernant la loi de l'attraction des corps célestes et de la gravitation universelle. Cf VOLTAIRE 15^e lettre philosophique : "...depuis que Mr PICARD eut mesuré la terre exactement en traçant cette méridienne qui fait honneur à la France, Mr NEWTON repris ses premières idées et il trouva son compte avec les calculs de Mr PICARD. C'est une chose qui me paraît toujours admirable qu'on ait découvert de si sublimes vérités avec l'aide d'un quart de cercle et d'un peu d'arithmétique." Par ailleurs, elle semblait induire certaines hypothèses sur la forme de la terre (voir pages suivantes).

(3) Guerre dite de "Succession d'Espagne".



La Méridienne de CASSINI
(Mémoire de 1718)

Dans le premier de ces mémoires, l'auteur résume les travaux et les méthodes utilisées. Le but explicite est d'abord de mesurer la "Mérienne", donc les dimensions géométriques de la terre. L'accent est d'ailleurs mis sur les mesures effectuées à la surface de la terre, angles et longueurs, et la part laissée aux calculs de latitude et longitude assez restreinte. Il faut dire que les prédécesseurs étaient avant tout astronomes et avaient déjà effectué une grande part du travail.

La forme de la terre

Mais les conclusions de ces travaux vont ouvrir une polémique inattendue. Quand PICARD en 1670 mesure un degré du méridien terrestre, il admet implicitement que la terre est parfaitement sphérique ; son but est de calculer le rayon terrestre et ses mesures auraient dû permettre aux astronomes de relier les calculs planétaires aux distances terrestres. En particulier, comme PICARD l'a écrit dans son rapport à l'Académie de 1669, ce travail aurait pu contribuer à résoudre les problèmes d'unité de mesure. Dans "la Mesure de la terre" (page 18) il exprime clairement l'intérêt du pendule à seconde dans la recherche d'une solution :

"Si l'on avoit une fois ainfi trouvé la longueur d'un Pendule à secondes exprimée suivant la mesure usuelle de chaque Pays, on auroit par ce moyen la proportion des mesures différentes aussi justes que si les originaux avoient été confrontés ensemble, & l'on auroit cet avantage, que l'on pourroit sçavoir à l'avenir le changement qui leur feroit arrivé.

Mais outre les mesures particulières, on pourroit convenir de celles qui suivent, lesquelles n'ont besoin d'aucun autre original que le Ciel.

La longueur d'un Pendule à secondes de temps moyen, pourroit être appelée du nom de Rayon Astronomique, dont le tiers feroit le pied universel ; le double du rayon astronomique feroit la Toise universelle, qui feroit à celle de Paris comme 881 à 864.

On pourroit aussi prendre le quadruple du rayon astronomique pour faire la perche universelle égale à la longueur d'un Pendule à deux secondes ; enfin le Mille universel contiendrait 1000 perches.

Un doute l'effleure pourtant. Différentes mesures lui sont parvenues et le pendule battant la seconde n'a peut être pas partout la même longueur. Si l'espoir d'avoir par ce moyen une mesure universelle, sera plus tard concrétisé⁽¹⁾, ces différences de longueur pour une même période (la seconde) vont engendrer les premiers doutes sur la sphéricité de la terre.

En 1672 RICHER⁽²⁾ constate lors d'une expédition en Guyane que le pendule qui en France battait la seconde, bat plus lentement à l'équateur. Il faut le raccourcir d'une ligne un quart⁽³⁾, pour que les oscillations redeviennent de même durée.

La longueur du pendule dépend de la pesanteur terrestre ; il semblerait qu'elle ne soit donc pas la même à Cayenne qu'à Paris. Se pourrait-il que la terre ne soit pas vraiment sphérique ?

Ce fait si surprenant est peut-être une erreur de mesure. Pourtant RICHER a répété maintes fois son expérience pendant dix mois avec beaucoup de soin. Une expédition envoyée en 1682 par l'Académie avec des instructions de J.D. CASSINI⁽⁴⁾, pour éviter "tout défaut dans l'observation", confirme la mesure. En 1687, NEWTON dans "Principia mathematica" affirme le principe de l'attraction universelle, et explique le dérèglement du pendule par une attraction moindre, résultant du renflement de la terre à l'équateur. La terre serait un sphéroïde aplati aux pôles. HUYGENS confirme alors les résultats de NEWTON par ses travaux sur la force centrifuge.

Cependant, Jacques CASSINI et son père ont continué la mesure du méridien. Si la terre est vraiment aplatie aux pôles, le degré de méridien sera plus grand vers le nord que vers le sud. Les premières mesures semblent prouver le contraire ; la terre serait donc aplatie à l'équateur. Pour en avoir le cœur net, il s'avère nécessaire de continuer la mesure sur une plus longue distance.

(1) Ce sera les travaux de DELAMBRE et MECHAIN à la fin du XVIII^e siècle concernant l'établissement du mètre.

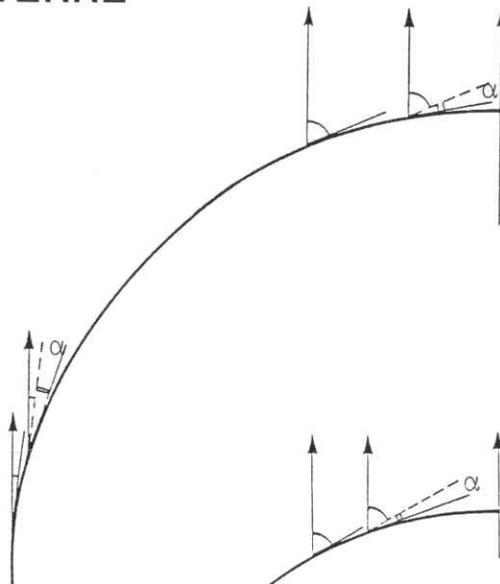
(2) RICHER (1630-1696).

(3) Un peu moins de 3 mm.

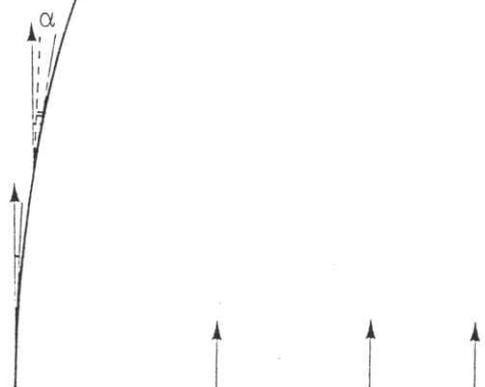
(4) Instructions générales pour les observations géographiques et astronomiques à faire dans les voyages. Observatoire de Paris; Archives N°1.

FORME DE LA TERRE

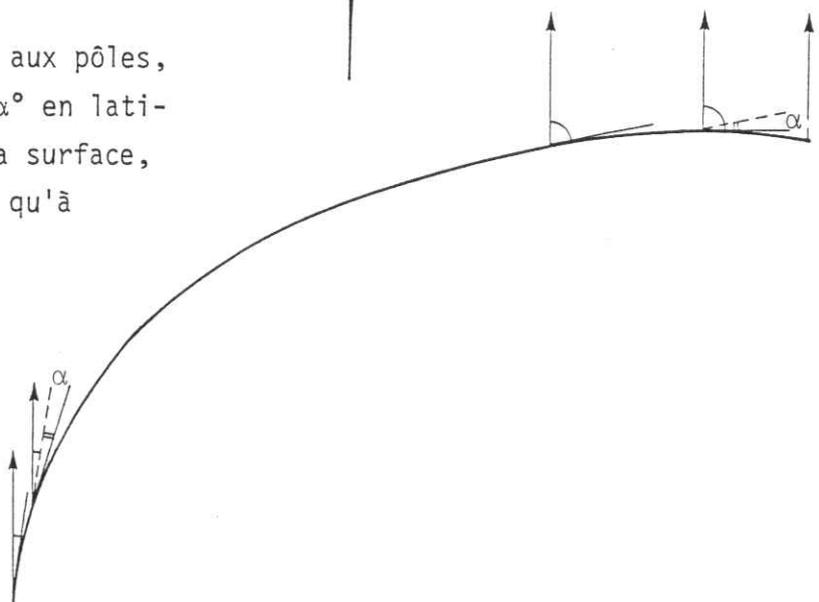
Si la Terre est sphérique, pour une différence de α° en latitude, la distance, à la surface, est la même.



Si la Terre est aplatie à l'équateur, pour une différence de α° en latitude, la distance est plus longue à l'équateur qu'aux pôles.



Si la Terre est aplatie aux pôles, pour une différence de α° en latitude, la distance, à la surface, est plus longue au pôle qu'à l'équateur.



"L'on fçait que divers Mathematiciens celebres ont fuppofé que la Terre étoit de figure Elliptique. Quelques-uns ont jugé qu'elle étoit aplatie vers les Poles, en forte que l'Equinoxial étoit plus grand que les Meridiens; d'autres l'ont fuppofée plus longue d'un Pole à l'autre que fuivant l'Equinoxial. Ces derniers avoient fondé cette hypothefe fur diverfes dimenfions de la Terre faites à différentes hauteurs du Pole, qu'on ne pouvoit concilier enfemble qu'en fuppofant quelque inégalité réelle dans la grandeur des degrés d'un même Meridien fous divers paralleles. Le feul moyen qu'il y avoit donc pour décider cette queftion, étoit de mefurer une portion d'un Meridien beaucoup plus grande qu'on n'avoit fait jufqu'alors, & d'observer en divers endroits de ce Meridien la hauteur du Pole, pour pouvoir s'affûrer s'il y avoit un égal nombre de toifes dans chaque degré compris entre cet intervalle".⁽¹⁾

Dans le même texte, un peu plus loin J. CASSINI annoncera pour le degré du méridien 57097 toises pour le segment Paris-Collioure et 56960 toises pour le segment Paris-Dunkerque. Il n'y a aucun doute, la terre est aplatie à l'équateur ! C'est le signal d'une longue querelle scientifique. S'affrontent "l'école anglaise" défendant la théorie de NEWTON, avec de nombreux partisans dont VOLTAIRE⁽²⁾ et un tout jeune académicien MAUPERTUIS, et "l'école française" soutenue par une large majorité de l'Académie des sciences, s'appuyant sur les théories cartésiennes (système des tourbillons) et défendant les résultats de CASSINI. C'est aussi le calcul "sur le terrain" contre le calcul théorique.

En 1730, Jacques CASSINI et son fils CASSINI DE THURY, sont chargés de poursuivre le canevas géodésique en vue de l'exécution de la carte de France, qui en tout état de cause, pouvait se poursuivre. Les nouvelles mesures confirmeront l'aplatissement de la terre à l'équateur. La controverse est à son comble ; l'on ironise dans les milieux philosophico-littéraires sur la forme de la terre selon que l'on soit à Londres ou à Paris.

(1) Mémoire de 1718 p. 8-9. Ouvrage cité.

(2) 14^e lettre philosophique : "A Paris, vous vous figurez la terre faite comme un melon, à Londres elle est aplatie des deux côtés.

Les expéditions

A l'Académie des sciences, le prestige de NEWTON grandit ; il faut trancher la question ; le mathématicien et astronome Louis GODIN est chargé, pour ce faire, en 1735 de diriger une expédition pour mesurer le méridien à une latitude voisine de l'équateur. Pour de multiples raisons tant géographiques que politiques, c'est la région de Quito au Pérou (actuellement dans la république de l'Equateur) qui est choisie. La mission, comprenant entre autres quatre académiciens : Louis GODIN, Pierre BOUGUER, Charles DE LA CONDAMINE, Joseph DE JUSSIEU,⁽¹⁾ quitte la Rochelle en mai 1735 ; ses résultats ne commenceront à être connus qu'à partir de 1744 ; c'est une extraordinaire aventure et les difficultés sont énormes ; les intempéries, le climat , l'environnement, enfin les mésententes liées aux différences de caractère de chacun des académiciens retardent les travaux.⁽²⁾

A peine l'expédition du Pérou a-t-elle quitté la France, que MAUPERTUIS⁽³⁾ propose d'aller aussi mesurer un degré de méridien aux alentours du pôle nord. L'expédition comprend 4 académiciens : MAUPERTUIS, CLAIRAUT, CAMUS, LE MONNIER ; les accompagnent CELSIUS et l'Abbé OUTHIER à qui nous devons le "Journal d'un voyage au nord en 1736 et 1737" récit détaillé des travaux. La région choisie est celle de Tornea en Laponie⁽⁴⁾. Les difficultés sont grandes, mais moindres qu'en Equateur, et les mesures sont rondement menées. Dès novembre 1737, MAUPERTUIS fait son compte rendu à l'académie des sciences. Il confirme fièrement la thèse de NEWTON.

Les partisans des deux camps restent cependant sur leurs positions. L'exactitude des mesures au nord est mise en doute. On verra plus tard qu'effectivement elle peut l'être ; certaines précautions n'ont pas été prises , comme la vérification du secteur, au retour de Tornea, pour vérifier la position du zéro. En fait, la mesure du méridien du nord est entachée d'erreurs grossières ; heureusement, pour MAUPERTUIS, elles sont dans le sens de sa démonstration.

(1) GODIN (1704-1760) ; BOUGUER (1698-1758) ; LA CONDAMINE (1701-1774) ; JUSSIEU (1704-1779).

(2) Florence TRYSTRAM retrace cette prestigieuse expédition dans un livre "Le procès des étoiles" (Seghers 1979) ; ce récit, très bien documenté, permet sans aucun doute, de comprendre ce qu'était alors l'aventure géographique, le dévouement que cela impliquait, et ce que signifiait être "académicien".

(3) MAUPERTUIS (1698-1759).

(4) Le lecteur pourra là encore, savourer le récit de cette mission dans l'ouvrage de J.P. MARTIN " la figure de la terre" (ed. isoète).

Il n'arrive cependant pas à convaincre vraiment, même si le doute s'insinue. Il a pourtant de chauds partisans dont le plus brillant est VOLTAIRE : "Vous avez aplati aussi bien les deux CASSINI, père et fils, que la terre elle-même" écrira-t-il dans une lettre datée de "l'an II de la terre aplatie" ; plus tard, l'expédition du nord sera le sujet de "Micromégas".

Les CASSINI, qui pourtant avaient le plus à perdre, restent modérés et en 1739, déclarent même que les résultats de l'expédition du Pérou confirmeront sans doute ceux de Laponie. Il s'agit donc de reprendre les mesures et chercher les causes d'erreurs sur la méridienne. S'agissant de l'expédition en LAPONIE, CASSINI DE THURY écrit en 1744 :

"Cette mesure qui avoit l'avantage d'avoir été faite sous un parallèle, où la grandeur du degré du Méridien devoit être fort différente de celui qui est en France, paroïssoit avoir été exécutée avec tant de soin, et avec des Instruments si exacts, que quoique la détermination qui en résultoit, fut seule contraire à ce que l'on avoit trouvé par les Observations faites en France, elle sembloit devoir leur être préférée, d'autant plus que dans les opérations de la Méridienne, on n'avoit point eu égard à l'aberration des Etoiles fixes, dont les lois n'étoient pas encore connues ; ce qui a influé sur la grandeur des arcs célestes.

Mon père qui avoit eu la plus grande part aux Observations de la Meridienne, avoit aussi reconnu, en traçant la perpendiculaire, combien les nouveaux Instruments, dont on se sert présentement, étoient supérieurs à ceux qu'il avoit employés dans la Meridienne.⁽¹⁾

Il semble donc, dans un premier temps, qu'il soit nécessaire de reprendre les mesures avec des instruments plus précis . Par exemple CASSINI mentionne

(1) La "Méridienne de l'Observatoire" ouvrage cité p. 7.

l'addition de micromètres⁽¹⁾, aux lunettes fixées sur l'alidade des quarts de cercle et secteurs utilisés pour mesurer les angles. Par ailleurs, ces instruments sont minutieusement vérifiés avant d'être utilisés sur le terrain. En mai 1739, la vérification des angles de la Méridienne est entreprise ; CASSINI DE THURY part avec l'Abbé DE LA CAILLE⁽²⁾ le long des triangles, repérés et déjà mesurés au début du siècle. Aux environs de Bourges, une autre base est mesurée, et, il faut se rendre à l'évidence, les "nouvelles mesures géométriques (...) fondées sur la base de Mr PICARD ne s'accordaient point avec la nouvelle base"⁽³⁾.

C'est presque un crime de lèse-majesté que de mettre en doute le travail de l'illustre prédécesseur. Sagement CASSINI DE THURY attend de renouveler sa vérification sur une autre base près de Rodez, et poursuit la mesure des triangles vers le sud.

Entre temps, MAUPERTUIS, de retour de Laponie, avait proposé à l'Académie de vérifier les calculs de l'Abbé PICARD. Dans un discours prononcé le cinq décembre 1739⁽⁴⁾ il ne remet pas en doute la mesure de la distance terrestre utilisée en 1669, mais plutôt celle de l'amplitude d'arc, c'est-à-dire de la différence de latitude entre les villes (Paris et Amiens) utilisées comme extrémité, du segment de méridien. Comme CASSINI, MAUPERTUIS incrimine l'imprécision des instruments, et comparant la mesure de PICARD avec celle qu'il vient de réaliser aux mêmes endroits avec le secteur utilisé en Laponie, il propose 57183 toises pour un degré, c'est-à-dire 123 toises de plus que pour le degré proposé en 1670. La différence de latitude entre Notre Dame de Paris et l'église Notre Dame d'Amiens, serait de 1° 2' 28" pour 1° 2' 36" proposée par PICARD⁽⁵⁾. Ces observations ont été faites en 1738-1739 par la même "équipe" qu'en Laponie, en particulier par LEMONNIER et porteront le nom de ce dernier.

A cette époque, la mesure du degré faite à l'équateur par les Académiciens partis en 1735 n'est pas connue. Aussi MAUPERTUIS utilise-t-il ses deux mesures, faites l'un Laponie, l'autre près de Paris, pour proposer un modèle de la

(1) Page 8 du même ouvrage. L'idée en serait due au chevalier DE LOUVILLE.

(2) Abbé Nicolas Louis DE LA CAILLE (1713-1762).

(3) La Méridienne page 12, ouvrage cité.

(4) Repris dans un ouvrage paru en 1740, dans lequel seront insérées une réédition de la "Mesure de la Terre" de PICARD écrit en 1671 et des "observations sur l'aberration des étoiles fixes". L'ouvrage contient également une description du secteur utilisé.

(5) Cf ouvrage cité dans la note précédente, pages V et 85.

de la terre sous forme d'un ellipsoïde dont il évalue le rapport du grand axe au petit axe à $\frac{178}{177}$ ⁽¹⁾.

Si les "Académiciens du Nord" avaient adopté sans hésiter la mesure de la base de PICARD, il n'en est pas de même pour CASSINI DE THURY. En effet, tous ses calculs effectués reposent en partie sur cette première donnée, en particulier ceux de la Méridienne. Il faut se résoudre à la vérifier, d'ailleurs :

"Etant arrivés à Rodés, j'appris que M. de Maupertuis, quelque déférence qu'il eut paru avoir jusqu'alors pour la mesure de M. Picard, se proposoit de la vérifier. Cette nouvelle me fit d'autant plus de plaisir, qu'étant persuadé que le seul moyen de reconnoître la vérité, est de la chercher par différentes voyes, j'esperois trouver le dénouement des difficultés que j'avois sur la base de M. Picard. D'ailleurs suivant le projet que j'avois exposé à l'Académie, je devois vérifier l'année suivante la partie septentrionale de la Meridienne, dans laquelle la mesure de M. Picard se trouve comprise, à l'exception de la distance de l'Observatoire à Malvoisine, que je venois de déterminer par mes propres Observations.

Les nouvelles Observations que j'avois faites à Rodés, m'avoient donné le degré compris entre cette Ville & Bourges, plus petit que celui de Bourges à Paris. Cette détermination se trouvoit contraire à celle qui résultoit de la comparaison de ce dernier degré à celui d'Amiens ; de sorte que l'on ne pouvoit plus concilier les Observations, qu'en supposant une erreur considérable dans les opérations de M. Picard, ou une irrégularité dans la figure de la Terre ; & comme la base que je venois de mesurer à Rodés, s'accordoit exactement avec celle de Bourges, la mesure de M. Picard devenoit de plus en plus douteuse."⁽²⁾

(1) Degré du Méridien entre Paris et Amiens, ouvrage cité page 23.

(2) La Méridienne , ouvrage cité p. 12

VALEURS DU DEGRE

| Arcs | Observateurs | Epoque | Latitude moyenne | Amplitude | En toises : degré | |
|-----------------|------------------------------|--------|------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | | | | | Observé | Théorique |
| Paris-Amiens | Picard | 1670 | 49°23' | 1°11'57" | 57007 | 57063 |
| Paris-Amiens | Cassini I et II | 1700 | 49°23' | 1°11'57" | 56973 | 57063 |
| Paris-Collioure | Cassini I et II | 1700 | 45°40' | 6°18'57" | 57040 | 57025 |
| Laponie | Maupertuis | 1737 | 66°20' | 57'28" | 57438 | 57215 |
| Paris-Amiens | Le Monnier | 1740 | 49°23' | 1° 1'12" | 57087 | 57063 |
| Paris-Amiens | de La Caille/ Cassini III | 1740 | 49°23' | 1° 1'12" | 57074 | 57063 |
| Pérou | Bouguer/ La Condamine | 1743 | -1°30' | 3° 7' 3" | 56737 | 56733 |
| Pérou | Godin | 1743 | -1°30' | 2°40'55" | 56751,6 | 56733 |
| Pérou | Juan/Velva | 1743 | -1°30' | 3°26'52" | 56768 | 56733 |
| Laponie | Svanberg | 1802 | 66°20' | 1°37'19" | 57196 | 57214 |

Aplatissement de la terre

Si R est le demi grand axe de la terre et r le petit, l'aplatissement est :

$$\frac{R - r}{R}$$

HUYGENS l'avait fixé à 1/576 et NEWTON à 1/230

Valeurs déduites des différentes mesures prises deux à deux :

| | Maupertuis | La Caille | Le Monnier | La Caille | Bouguer |
|----------------------|------------|-----------|------------|-----------|---------|
| Maupertuis (Laponie) | - | | | | |
| La Caille (Paris) | 1/23 | - | | | |
| Le Monnier (Paris) | 1/175 | - | - | | |
| La Caille (Le Cap) | 1/230 | 1/1280 | 1/324 | - | |
| Bouguer (Pérou) | 1/179 | 1/300 | 1/225 | 1/178 | - |

En 1799, la Commission des Poids et Mesures adoptera 1/334.

En 1967, l'Association Internationale de Géodésie a entériné 1/298,25

$$R = 6378160 \text{ m}$$

$$r = 6356770 \text{ m}$$

Cependant, il faut d'abord poursuivre vers le sud. Près de Perpignan une autre base est mesurée et ses résultats, s'ils s'accordent avec la mesure faite à Bourges mettent encore en défaut la base de PICARD. En 1740, l'Abbé DE LACAILLE remesure la suite des triangles de Bourges, vers le sud, en implante d'autres et arrive au même résultat. Il faut donc reprendre le travail de 1670. Ce n'est pas très aisé, les extrémités et repères ne sont plus visibles. Jacques CASSINI décide de mesurer une base parallèle, et le résultat montre que le calcul de 1670 est en excès d'une demi douzaine de toises.

Au bout du compte, il faut se rendre à l'évidence : "les degrés du méridien décroissent en allant vers l'Equateur et par conséquent (...) la figure de la terre est aplatie⁽¹⁾. CASSINI DE THURY reconnaît son erreur, celle de son père et de son grand-père. Avec raison, il l'excuse par l'aplatissement peu considérable de la terre et par la marge d'erreur inévitable, surtout quand les observations se font au moyen d'instruments dont le dérèglement est imperceptible.

Les membres de l'expédition du Pérou reviennent peu à peu en France, en particulier Pierre BOUGUER. Le premier, il rend compte de ses travaux devant l'Académie en novembre 1744. L'aplatissement de la terre aux pôles est évidemment confirmé. La fin du XVIII^e siècle verra beaucoup de savants s'attacher à préciser cet aplatissement. En particulier LAPLACE et LEGENDRE⁽²⁾ confirmeront le bon accord de l'arc évalué au Pérou avec les mesures de l'Abbé de LACAILLE et de CASSINI DE THURY. Par contre, l'arc de Laponie sera rejeté, et révisé entre 1801 et 1803⁽³⁾.

L'histoire ne s'arrête pas là ; la terre n'est pas vraiment un sphéroïde aplati. Les mathématiciens et les physiciens inventeront de nouveaux outils⁽⁴⁾. Au XIX^e siècle la géodésie se développera et des calculs théoriques donneront à la terre des formes diverses et parfois inattendues.

(1) La Méridienne P. 25, ouvrage cité.

(2) LAPLACE (1749-1827) et LEGENDRE (1752-1833).

(3) Les erreurs de MAUPERTUIS venaient du souci de faire vite et les vérifications ont donc manqué.

(4) En particulier les fonctions sphériques chez LAPLACE et LEGENDRE.

5) LA CARTE

La carte de 1745

La "Mériidienne" avait été achevée en 1718 et aucune autre mesure sur le terrain n'était envisagée. La carte était en panne et le projet de COLBERT semblait abandonné. La nécessité s'en faisait cependant sentir puisque, en 1733 le contrôleur général ORRY remettait à l'ordre du jour l'idée de disposer d'une carte précise de la France. S'il y avait bien sûr un intérêt politique à disposer d'un outil donnant une bonne connaissance géographique du pays, il faut également reconnaître que la cartographie était dans l'air du temps. Les cartes locales se multipliaient, et certaines utilisaient logiquement le canevas de la "Mériidienne", calculé auparavant par les Académiciens.

Leur assemblée pouvait par ailleurs voir dans les travaux demandés pour lever cette carte une nouvelle occasion de mesurer les dimensions de la terre. Nous avons vu précédemment qu'à cette époque la querelle de la forme de notre planète battait son plein. Cependant, comme il ne pouvait être question de commencer par une nouvelle mesure du degré suivant le méridien de PARIS, c'est suivant une perpendiculaire à celui-ci que se déroulèrent les premiers travaux. Le 1er juin 1733, Jacques CASSINI et ses fils⁽¹⁾ commencèrent d'établir et de mesurer des triangles à partir de Paris, suivant une direction qui devait les mener vers le Cotentin.

Il est important de remarquer qu'il ne s'agit pas alors de mesurer un parallèle. La perpendiculaire à la Méridienne (ou au Méridien) est un grand cercle de la sphère terrestre. Sa projection sous forme de droite créera donc de plus grandes distorsions au fur et à mesure que les géomètres s'éloigneront de Paris.

Sur le terrain une difficulté inattendue surgit : les forêts situées aux confins de l'Ile de France et de la Normandie se révélèrent pour les observateurs si denses "qu'on ne laissait pas d'apercevoir au travers (...) quelques clochers où nous eûmes soins de nous transporter et de nous élever le plus qu'il fut possible, pour examiner si l'on pouvait découvrir de là quelques objets convenables pour

(1) Mémoires de l'Académie année 1733. Mémoire rédigé par Jacques CASSINI.

nous avancer vers l'occident"⁽¹⁾. Il fallut aller vers le Sud (Chartres) et contourner les forêts, pour arriver vers Granville au mois de septembre. La mesure d'une nouvelle base de 3731 toises⁽²⁾ permit de vérifier les calculs.

Les premières mesures furent suivies de toute une série destinée à couvrir la France d'un canevas de triangles. En premier lieu, on calcula deux autres perpendiculaires à la Méridienne au niveau d'Orléans, puis au nord de Paris. De plus, toutes les côtes de l'Ouest firent l'objet de repérages suivant une parallèle à la Méridienne⁽³⁾ de Cherbourg à Bayonne. En 1738, une nouvelle perpendiculaire de Bayonne à Antibes est triangulée.

Nous avons vu qu'à cette époque, César François CASSINI DE THURY avait repris les mesures de la Méridienne de Paris dans le cadre de la controverse liée à la forme de la terre. Ceci s'insère dans la réalisation du canevas géométrique de la France et en 1740, la triangulation des frontières est achevée. 400 triangles et 18 bases ont été mesurées. Il reste à compléter les vides au moyen de 400 autres triangles pour dresser en 1744 une première carte au 1/878000, formée de 18 feuillets. Onze chaînes de triangles la structurent : outre la méridienne, 3 chaînes parallèles au méridien et 7 perpendiculaires.

Cette carte est présentée à l'Académie le 13 novembre 1745 et c'est la première fois qu'est réalisée la mesure géométrique d'un pays. En 1746, CASSINI DE THURY publie "la Méridienne de l'Observatoire Royal de Paris". Cet ouvrage contient, en trois parties, tout le détail des travaux, calculs compris, qu'a entraînés la mesure des triangles.

La commande de LOUIS XV

En 1746, CASSINI DE THURY suit l'armée en campagne dans les Flandres⁽⁴⁾. Il s'agit pour lui de cartographier le théâtre des opérations, ou tout au moins d'organiser et de faciliter le travail des géographes militaires. En fait,

(1) Rapport de 1733 à l'Académie p. 394, ouvrage cité.

(2) "Entre le Cap de la Crête et celui du Bec St Phonces"... soit 3731 toises, 3 pouces et 7 lignes, pour environ 7,2 km.

(3) Qui n'est donc pas un méridien !

(4) Guerre dite de succession d'Autriche.

c'est aussi l'occasion de prolonger les triangulations françaises et de les raccorder à celles de SNELLIUS établies plus d'un siècle auparavant. Un mémoire consacré à ce sujet sera présenté à l'Académie en 1748. L'auteur y fait état des imprécisions relevées dans le travail de ce prédécesseur, imprécisions liées peut-être aux instruments, mais aussi à la mesure d'une base trop petite⁽¹⁾.

Mais l'essentiel de ce mémoire consiste une fois de plus à attirer l'attention sur l'intérêt, sinon la nécessité, de posséder des cartes exactes et précises du Royaume. CASSINI termine sans doute son exposé par les précisions que ses nouvelles mesures ajoutent aux calculs concernant la dimension de la terre, mais il fait également allusion à la décision de LOUIS XV de lancer la réalisation d'une nouvelle carte de France. Cette fois, l'échelle sera suffisante pour représenter en détail le pays. Cette décision est le résultat d'un petit complot ourdi autour du Roi, lequel d'ailleurs ne demandait que de se laisser faire, pour le mener à commander cette carte. En effet, au vu des plans réalisés par CASSINI pour la campagne des Flandres, poussé par ses proches et ses secrétaires, LOUIS XV aurait tout bonnement déclaré :

"Je veux que la carte de mon royaume soit levée de même, je vous en charge, prévenez Mr MACHAULT".

MACHAULT, successeur d'ORRY au poste de contrôleur général est bien sûr du complot. A tel point d'ailleurs que le devis soumis par CASSINI lui semble insuffisant et qu'il n'hésite pas à proposer plus encore⁽²⁾ :

"Je trouvais dans ce Ministre les dispositions les plus favorables, mon projet étoit le même que celui dont j'ai déjà parlé. M. de MACHAULT, bien loin d'être effrayé de la dépense annuelle de quarante mille livres, me proposa de l'augmenter, pour abréger le temps de l'exécution qu'il prévoyoit trop long dans la place qu'il occupoit."

(1) Suite des mémoires de l'Académie des Sciences, année 1748.

(2) "DESCRIPTION GEOMETRIQUE DE LA FRANCE , César-François CASSINI DE THURY, 1783, p. 13.

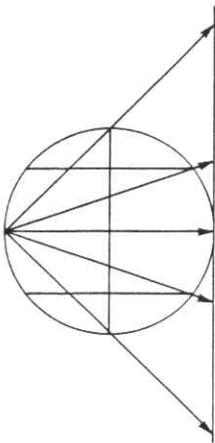
CARTOGRAPHIE

Le problème est de représenter sur un plan la surface d'une sphère.

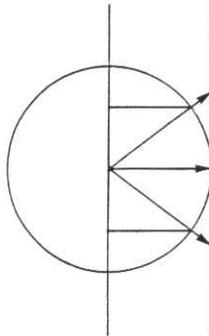
Aucun système ne sera évidemment satisfaisant!

La projection peut se faire directement sur un plan. Elle peut être :

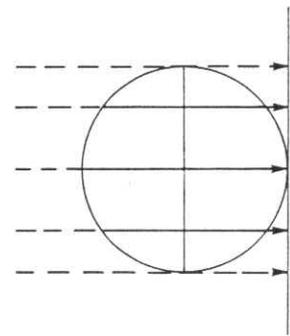
stéréographique



centrale

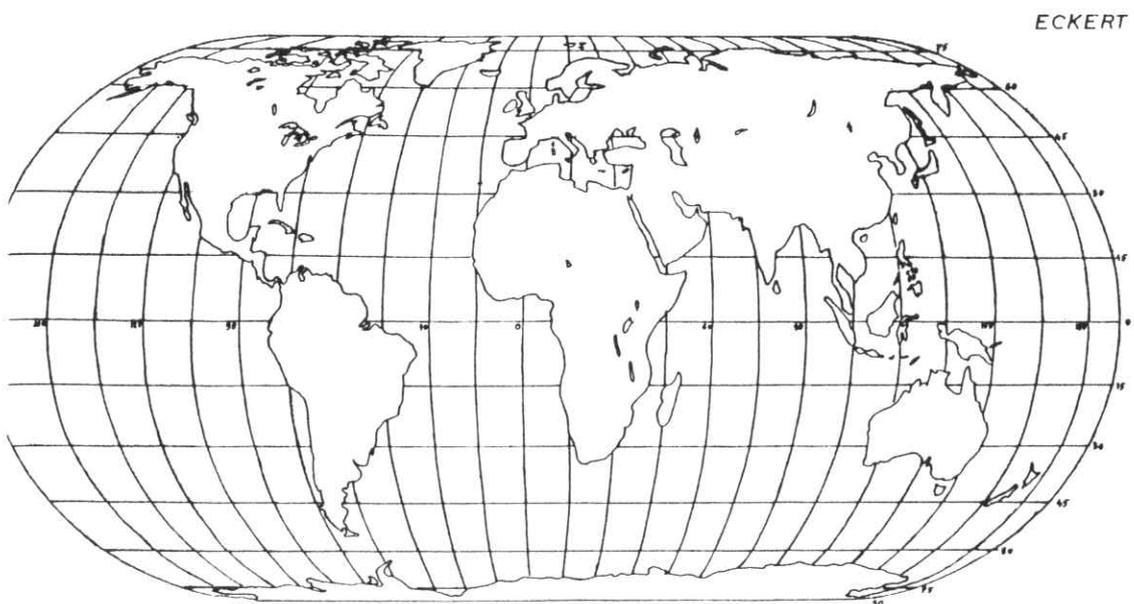


orthographique



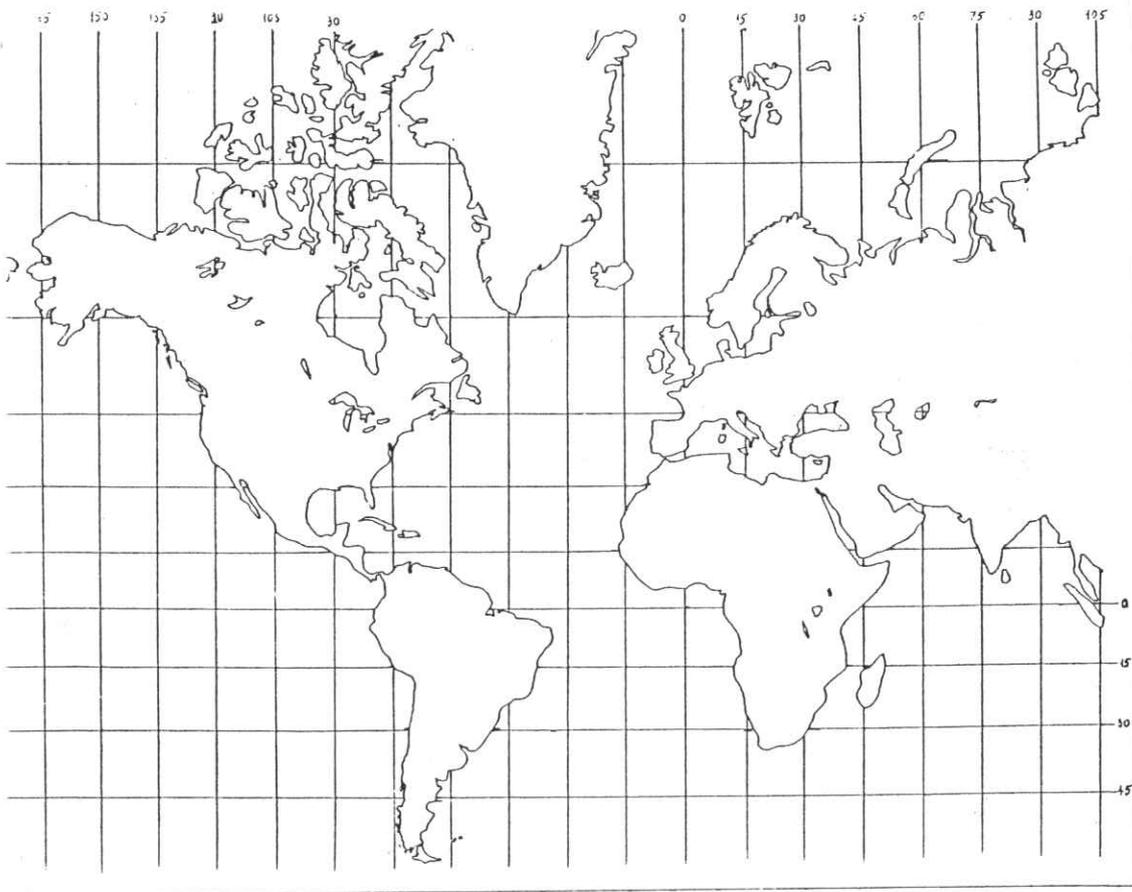
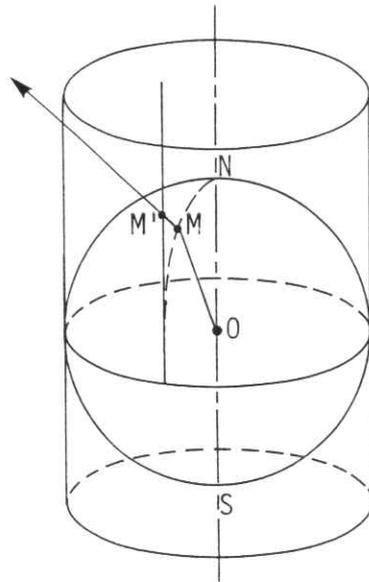
Mais seule la première est conforme, c'est-à-dire qu'elle respecte les angles.

S'il s'agit d'obtenir une projection équivalente, c'est-à-dire respectant le rapport des surfaces, on obtient des formes telles que la suivante (projection de ECKERT) :



CARTOGRAPHIE

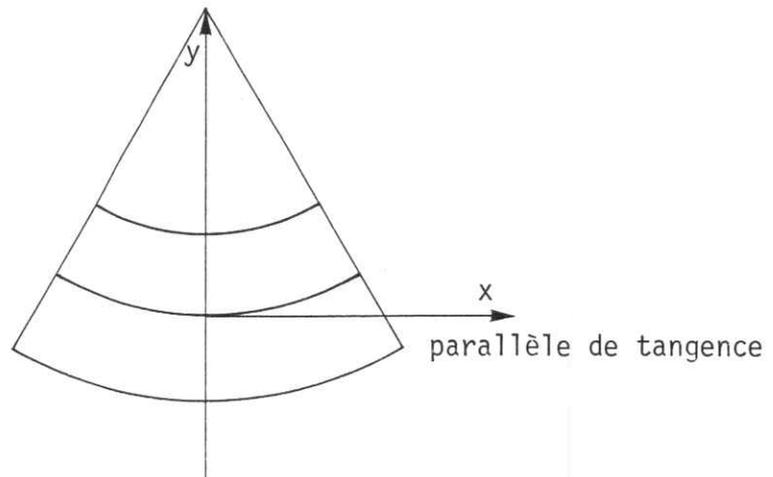
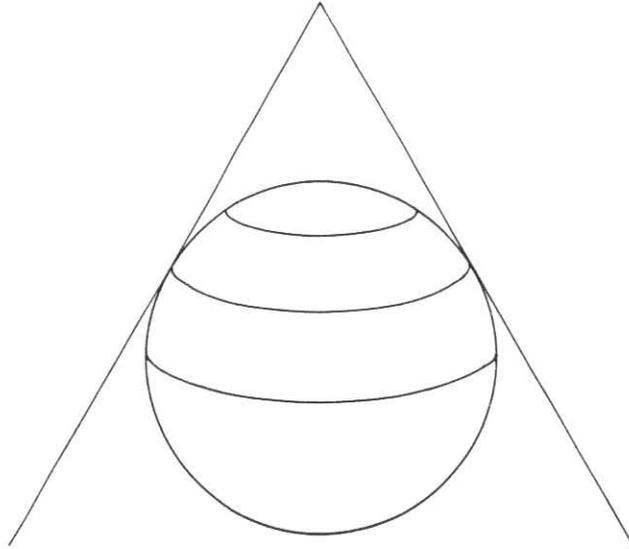
Projection de MERCATOR



La projection est conforme.

CARTOGRAPHIE

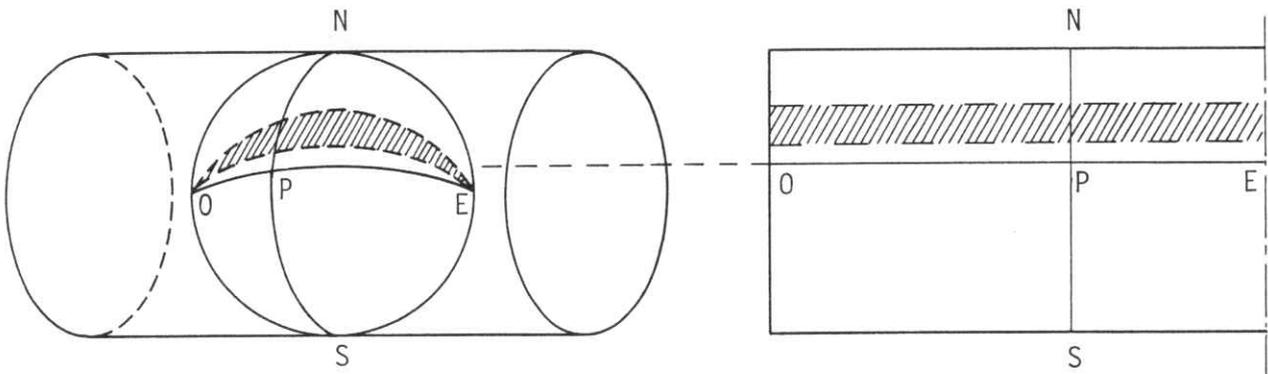
Projection conique de LAMBERT



La projection se fait sur un cône tangent à un parallèle.
On découpe le cône suivant la projection d'un méridien.
La projection est conforme.

CARTOGRAPHIE

Projection de CASSINI



Si P est l'Observatoire de Paris :

NPS est le méridien passant par l'Observatoire

OPE est le grand cercle coupant le méridien passant en P

Ce grand cercle sera projeté sur une perpendiculaire à la projection du méridien.

Le fuseau hachuré est projeté selon la zone hachurée ci-dessus. On constate aisément que les distances à l'intérieur d'un fuseau, suivant les parallèles, sont dilatées lorsqu'on s'éloigne du méridien de Paris, mais conservées le long des perpendiculaires.

Jacques-Dominique CASSINI⁽¹⁾, fils de César-François CASSINI DE THURY, expliquera dans un mémoire du début du XIX^{ème} siècle, que le souci du contrôleur général était de faire vite. Il faut voir là sans doute l'origine de cette surprenante proposition. Mais les impératifs logistiques seront les premiers freins.

Pour que commencent les travaux, il faut d'abord que la paix revienne. A peine le traité d'Aix-la-Chapelle (1748) signé, on recrute du personnel, on le forme, on commande les instruments nécessaires en quantité suffisante... le projet est d'importance, puisque l'échelle de 1/86400⁽²⁾ conduira à découper la France en 180 feuilles de 24 pouces sur 35⁽³⁾. La première année (1748-1749) n'est consacrée qu'à la mise en route des travaux, surtout à "l'éducation des ingénieurs". Si CASSINI estime qu'il faut 20 personnes sur le terrain, ce nombre ne sera atteint que quinze ans plus tard. D'ailleurs, ce personnel ne sera pas toujours, une fois formé, sourd aux sollicitations de personnalités locales plus désireuses de s'attacher son service que de faciliter les projets de CASSINI.

Le projet, s'il est d'importance, est aussi particulièrement minutieux. Les ingénieurs partent des repères qui ont servi à la carte de l'Académie, c'est-à-dire des chaînes de triangles perpendiculaires à la méridienne. Utilisant des graphomètres à lunettes, ils relèvent tous les points remarquables du terrain, et, accompagnés en général du curé local, prennent connaissance de la toponymie du pays. Ces données vont leur servir à esquisser une première description des contrées parcourues.

Ces brouillons serviront à établir une seconde carte pour laquelle interviendront les calculs (distances à la perpendiculaire et à la méridienne). Des vérificateurs retourneront alors sur le terrain pour présenter ce premier travail aux notables, lesquels pourront intervenir à nouveau, tant sur la toponymie que sur la localisation des sites. Jacques CASSINI mentionne que ce renvoi de vérificateurs fut plus d'une fois suivi d'une "levée toute nouvelle".⁽⁴⁾

(1) Jacques-Dominique CASSINI, dernier de la lignée (1748-1845).

(2) Une ligne pour cent toises.

(3) Soit 65x95 centimètres.

(4) Mémoire de Jacques-Dominique p. 102 "5^{ème} mémoire".

La phase suivante est celle de la gravure, phase dans laquelle interviendra sans doute un aspect artistique. Celui-ci ne se fera pas au détriment des qualités géographiques et scientifiques de l'ouvrage, mais restera peut-être en deçà de certaines réalisations de la même époque.

L'opération devait durer une dizaine d'années. Avec trente "ingénieurs", on espérait réaliser annuellement quinze planches. Mais les difficultés se multiplient : en premier lieu, il n'y eut jamais beaucoup plus de vingt personnes pour effectuer les relevés, et elles eurent bien du mal à franchir le mur d'indifférence et souvent l'hostilité des habitants⁽¹⁾. Par ailleurs, si certaines bonnes volontés se manifestaient, elles n'étaient pas toujours gratuites et plusieurs "ingénieurs" furent débauchés par des notables locaux pour travailler temporairement ou définitivement à leur seul profit.

Jacques CASSINI rapporte que le travail ne prit un rythme de croisière qu'en 1752, pour voir sortir la première feuille, celle de Paris, en août 1756. Le programme est alors de publier une nouvelle feuille tous les mois. A cette époque, douze planches sont déjà gravées, après vérification ; l'ensemble couvre une région qui va de Rouen à Meaux, d'Arras à Vezelay. D'autres planches sont en gravure et l'ouvrage semble en bonne voie, malgré les sept années écoulées depuis la décision de LOUIS XV.

La Compagnie

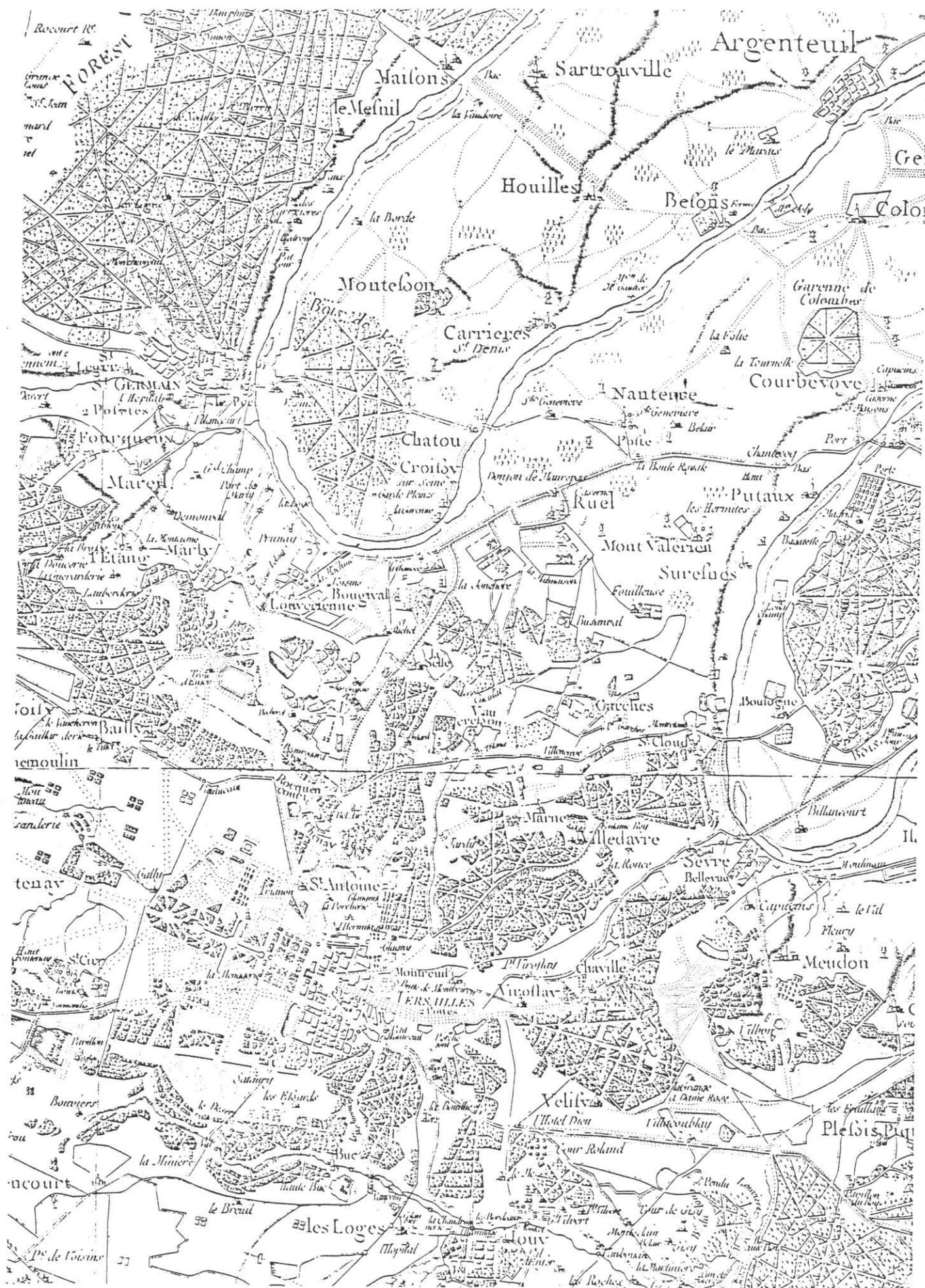
Début 1756, CASSINI DE THURY reçoit l'ordre de tout arrêter. DE SEHELLES, nouveau contrôleur général, lui annonce que les dépenses militaires⁽²⁾ à nouveau grèvent le budget, et qu'il faut attendre des circonstances plus favorables⁽³⁾.

Le Roi était à Compiègne. CASSINI court alors lui présenter la première feuille, à paraître dans l'année. Il semble que le monarque soit enchanté du travail fourni, mais reste sourd aux sollicitations de l'Académicien. Il ne peut

(1) César-François CASSINI DE THURY fut même attaqué à coups de fusil, alors qu'il travaillait au sommet d'un clocher breton.

(2) La guerre de 7 ans.

(3) Mémoire de J. CASSINI, ouvrage cité p. 107.



Carte des environs de Paris
(1756)

laisser continuer l'entreprise... "**Mon contrôleur général ne le veut pas!**".

CASSINI ne renonce pas pour autant et conçoit alors de créer une société d'actionnaires, destinée à soutenir les frais de la réalisation de la carte. Les souscripteurs recevraient les feuilles en priorité et leur publication pourrait assurer, sinon des bénéfices, au moins la survie de l'entreprise.

Non seulement l'appui du Roi lui est assuré, mais CASSINI voit sa nouvelle compagnie recevoir propriété de tout l'ouvrage réalisé à ce moment là, ainsi que des matériels utilisés. De plus, LOUIS XV lui fournit obligeamment une liste d'actionnaires choisis parmi sa cour, au premier rang desquels figure Mme DE POMPADOUR.

La liste comporte Grands du Royaume, militaires et académiciens, mais il n'en demeure pas moins que la carte de France devient une affaire privée, dont la gestion est autonome. Les actionnaires, malgré quelques oublis ou défections alimentent régulièrement l'entreprise et celle-ci connaît une situation satisfaisante.

Cette autonomie lui permet aussi de traiter avec les parlements des provinces, pour la réalisation de cartes particulières. De même certains évêchés passent commande de cartes de leur diocèse. Cependant, cette nouvelle clientèle, si elle permet l'apport de fonds, ralentit les travaux, non seulement du fait de la réalisation de cartes annexes, mais encore par de nombreuses tergiversations quant à l'octroi des subventions.

En 1762, quarante sept feuilles ont été gravées, et il y eut jusqu'à 29 ingénieurs⁽¹⁾ au travail. Mais les déconvenues arrivent. La carte ne se vend pas aussi bien que CASSINI l'escomptait⁽²⁾. Elle a été proposée en souscription dès 1758, mais le nombre de souscripteurs a eu du mal à atteindre 200, actionnaires non compris. En 1764, les généralités⁽³⁾ sont autorisées à verser leur quote part à la compagnie pour la réalisation de leurs cartes particulières, si elles n'ont pas encore été levées. C'est une nouvelle bouffée d'oxygène, mais l'argent ne rentre

(1) En 1759.

(2) Jacques CASSINI relève qu'il aurait fallu vendre en moyenne 2000 exemplaires de chaque feuille. En réalité, cette moyenne ne dépassait pas 600.

(3) Subdivisions administratives.

pas si facilement dans les caisses de la Compagnie. Enfin, le personnel est de moins en moins stable et CASSINI a bien du mal à recruter de nouvelles équipes.

En 1784, César-François CASSINI DE THURY meurt, après la publication, en 1783 de la "Description géométrique de la France". L'ouvrage contient l'historique de la carte, la description des travaux réalisés pour calculer les coordonnées géographiques des points remarquables du pays et la transformation de ces coordonnées en distances à la méridienne et à ses perpendiculaires (coordonnées cartésiennes). Le livre possède en annexe l'acte de création de la compagnie. Il est en somme le bilan du travail fourni, même si ce dernier n'est pas tout à fait achevé, puisqu'en 1790, il ne restait plus que 15 feuilles à paraître⁽¹⁾.

(1) Deux pour la Guyenne, une dans les Pyrénées, 12 en Bretagne, dont seulement quatre restaient à graver.

6) AVATARS

Les ennuis ont vraiment commencé en Bretagne, dont les états ne se sont décidés à signer un accord pour la carte que le 21 septembre 1781. Dans son 5^e mémoire Jacques-Dominique CASSINI raconte les déboires de son père dans cette région.

"De toute les provinces de France j'ose le dire, la Bretagne est celle qui nous a donné de plus de peines, (...) et dont nous avons été le plus mal récompensés. Soumis à l'examen et aux tracasseries de gens qui voulaient juger nos opérations et n'y entendaient rien, il nous a fallu répondre sans cesse à des objections sans fondement, écouter des plaintes vagues, et détruire les fausses applications et conditions du traité, qu'on nous accusait toujours de ne point remplir, le tout pour s'autoriser à ne point payer."(1)

Jacques-Dominique CASSINI, à la mort de son père, avait repris le travail, se heurtant à son tour, aux populations locales qui comprenaient mal qu'une carte ne puisse rendre compte, par exemple, du détail de chaque maison, ou, qu'avant d'être une œuvre d'art, c'était une œuvre de précision. Il se heurtait aussi aux problèmes de toponymie : "La nomenclature était, surtout pour leur pays, la partie dont nous pouvions le moins répondre ; que d'ailleurs elle dépendait plus d'eux que de nous (...) Si des bretons n'étaient pas d'accord entre eux, il était bien pardonnable à mes ingénieurs (...) d'être trompés sur l'orthographe bretonne par des indicatiers ou par des recteurs"(2).

Les levés cependant seront terminés en 1787. La vérification par "les personnes les plus intelligentes du pays" restait à faire. Les problèmes recommençaient aussitôt, car ces personnes étaient totalement ignorantes dans l'art de lever les plans. CASSINI finissait par voir le bout du chemin quand la révolution survint.

Afin de pouvoir terminer les travaux, la compagnie de la carte s'adressait alors à la commission de liquidation des affaires de la Bretagne qui découvrit que

(1) 5^e mémoire p. 122.

(2) 5^e mémoire p. 124.

les anciens états avaient depuis longtemps utilisé à d'autres fins les fonds destinés à la carte⁽¹⁾.

A la fin de l'année 1790, CASSINI rédigea un mémoire afin de solliciter des fonds de l'Assemblée Nationale. Tout en notant que les associés de la société de la carte n'étaient plus que dix pour l'écouter (prudence ou exil), il faisait le point très détaillé de l'état des travaux :

- La totalité des 182 feuilles était levée, et il en restait 15 à faire paraître.
- Une réduction en 18 feuilles avait été décidée en 1787⁽²⁾. 13 feuilles étaient déjà parues ; ces feuilles cependant comportaient les divisions de "l'ancienne France " en provinces. CASSINI avait donc proposé de faire paraître les 18 feuilles, avec les nouvelles divisions en départements et districts.

- En 1790, l'Assemblée Nationale ayant besoin d'une carte précise pour diviser la France en départements avait confié ce travail à la compagnie. Une carte en 3 feuilles avait été présentée le 10 avril 1790. Son succès avait permis de continuer peu à peu les travaux.

- Un autre projet de publier certains itinéraires "sur un petit nombre de feuilles longues et étroites, d'un format commode et portatif en voiture" n'avait pas aussi bien réussi⁽³⁾.

- CASSINI soulignait, pour le passif de sa compagnie, que toutes les cartes comportant les anciennes divisions en provinces avaient été abandonnées, que les Etats de Bretagne ne paieraient plus ce qu'ils devaient, et surtout que certaines tables très précieuses mais sans valeur commerciale, contenant tous les relevés étaient conservées et coûtaient fort cher.

Ce rapport eut peu d'effet car les évènements politiques se précipitèrent. Le 21 août 1793 FABRE D'EGLANTINE déclare à la Convention Nationale "la carte de France, ouvrage de la ci-devant Académie des Sciences, et appartenant au Gouvernement, était tombée entre les mains d'un particulier qui la vendait d'un prix excessif, de sorte qu'on ne pouvait plus se la procurer".⁽⁴⁾

(1) Les "Minutes des Etats de Bretagne" révèlent que 40 000 livres avaient été octroyées en 1781 sur lesquelles, 12 000 auraient été expédiées sur ordonnance en ... 1789 !

(2) L'échelle était d'une ligne pour 400 toises.

(3) Au détour de ces péripéties historiques se mettent peu à peu en place quelques fonctions modernes de la carte : fonctions administratives et fonctions touristiques.

(4) C'est l'époque où "la République n'a pas besoin de savants". L'Académie des Sciences, comme toutes les autres académies a été dissoute le 9 août 1793.



Carte de la région de Guérande (1792)

Plus méchant encore, MARAT s'illustre de mauvaise foi : "Sous prétexte de mesurer un degré du méridien, si bien déterminé par les anciens, les charlatans académiques se sont faits accorder par le ministre 100 000 écus pour les frais de l'opération, petit gâteau qu'ils se partagent en frères."

CASSINI conteste par ailleurs cette affirmation : cette carte est la carte de CASSINI et de sa compagnie, pas celle de l'Académie. Ce n'est pas non plus celle du gouvernement puisqu'elle a été donnée à la compagnie ainsi que tout le matériel. "On la désignait sous le titre de carte de l'Académie afin de faire croire aux ignorants que cet ouvrage n'avait point d'auteur particulier, mais le corps entier de l'Académie qu'on venait de supprimer, et dont les dépouilles devaient appartenir à la nation."⁽¹⁾

Un ingénieur associé , CAPITAINE, avait été nommé chef du dépôt de la carte de France ; il fut averti que la carte et le matériel devaient être enlevés et transportés au dépôt de la guerre. Ce qui fut fait, au grand désespoir de CASSINI.

CASSINI espérait cependant au moins obtenir de diriger la carte pour le gouvernement, en s'appuyant sur la récente "déclaration des droits", puisqu'on ne lui avait même pas donné l'occasion de se défendre. Il était seul ; ses associés s'étaient définitivement dispersés. Sa demande resta vaine.

En ces périodes troublées les retournements étaient nombreux. Ses plaintes finirent par trouver quelques échos et le 12 novembre 1793, le comité de Salut Public autorisa le ministre de la guerre à traiter avec les "ci-devant associés de la carte de la France, pour régler les dédommagements qui pourraient leur être dûs". Dans ce but, en 1794, CASSINI et CAPITAINE donnèrent un compte rendu très précis (au sous près !) de la gestion depuis 1756 jusqu'en 1793. Un accord fut trouvé, au demeurant assez avantageux pour le gouvernement, puisque toutes les actions des émigrés et des condamnés devaient lui revenir.

Naïveté de CASSINI ou hypocrisie du ministre ? CASSINI, avant la fin des négociations fut conduit en prison ; il y restera six mois pendant lesquels le traité fut cependant signé par CAPITAINE ; les commissions de la Trésorerie refusèrent de payer. Ayant retrouvé sa liberté, CASSINI n'était pas décidé à

(1) 5è mémoire p. 133 note.

pas décidé à lâcher prise, malgré les circonstances. Prudemment au départ, puis de plus en plus obstinément il va continuer de défendre son droit.

En août 1797 il présenta un nouveau mémoire au conseil des cinq-cents. Il fut écouté avec bienveillance, mais les circonstances politiques une fois de plus allaient faire traîner les choses en longueur.

Le Conseil d'Etat ne se prononça définitivement qu'après le 18 Brumaire. Les Consuls en février 1805 ordonnèrent alors que chaque porteur d'action soit remboursé.

Le destin une fois de plus allait se tourner contre la compagnie. Cette invraisemblable histoire ne trouverait donc jamais d'issue ! Avant que le remboursement n'ait pu être exécuté, la loi du 24 frimaire an VI annulait toutes les créances de l'an II, dont celle de la carte. Les actionnaires ne seraient jamais indemnisés.

Après tant et tant de démarches, CASSINI ne voulait pas être soupçonné de malhonnêteté pour le cas où un jour les descendants ou héritiers des actionnaires dispersés par la terreur ou l'émigration réclameraient leur dû. C'est la raison essentielle du 5^e mémoire qui nous a permis de connaître toutes les péripéties malheureuses de la carte. Bien sûr l'objectivité historique n'est sans doute pas parfaite, mais surtout, l'amertume est grande. Comment pourrait-il en être autrement ?

Finalement, qu'allait-il advenir d'une œuvre de tant d'années ? Les dernières feuilles (de Guyenne et de Bretagne) avaient fini par paraître en 1815, alors que "la carte" avait déjà été déclarée insuffisante, entre autres pour les besoins militaires. CASSINI lui-même avait préparé un plan de révision pour la topographie et la nomenclature ; il proposait aussi de vérifier les angles, les distances, les calculs de longitudes et de latitudes⁽¹⁾. Il fallait utiliser les nouveaux moyens techniques et mathématiques. Il était simple d'utiliser les cuivres pour faire ces rectifications ; cela évitait de refaire tout le travail. Il proposait aussi de mettre en marge un certain nombre d'indications.

(1) Sur les premières cartes, seules les distances à la méridienne de Paris et à la perpendiculaire étaient mentionnées.

C'est ce qui fut fait comme l'on peut en juger par quelques cartes de l'Atlas national de France revues et corrigées en 1818. Ces cartes ne comportent toujours pas de légende et sont pour cela très chargées ; mais nous trouvons en marge les coordonnées géographiques (par rapport au méridien de Paris d'une part, au méridien de l'Ile de Fer d'autre part).

En 1802, une commission de topographie, sous la présidence du Général SAMSON, directeur du dépôt de la guerre, édicta des règles pour les cartes topographiques, sur les échelles, l'orographie (représentation du relief, qui laissait effectivement beaucoup à désirer dans la carte de CASSINI) les signes conventionnels, la gravure, l'écriture, les projections... Ces règles, pour beaucoup, sont encore en vigueur.

De là, naîtront d'autres projets dont "la carte de l'état major" qui propose de reprendre l'élaboration d'une carte à partir du début. La décision sera prise par NAPOLEON en 1808... Les levés ne commenceront qu'en 1818... Une autre aventure commençait qui se terminerait en 1880 seulement.

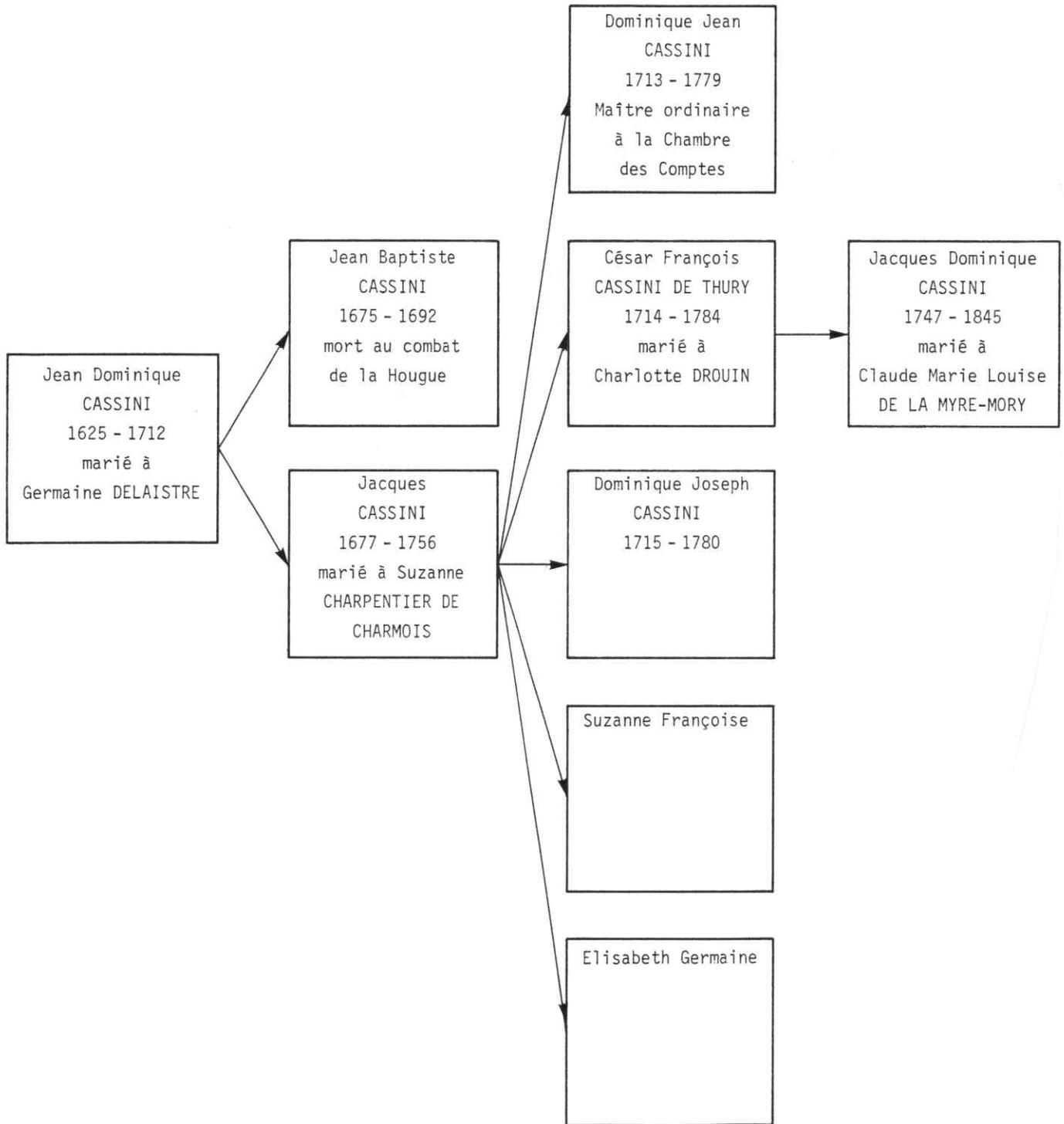
La carte de CASSINI avait encore de beaux jours ; de nombreuses cartes jusqu'au milieu du XIX^e siècle l'utilisèrent encore ; la facture bien sûr s'éloigne peu à peu de la carte de CASSINI car les règles de la commission de 1802 sont respectées et la gravure à partir de 1838 se fera sur pierre (les cuivres s'usaient rapidement).

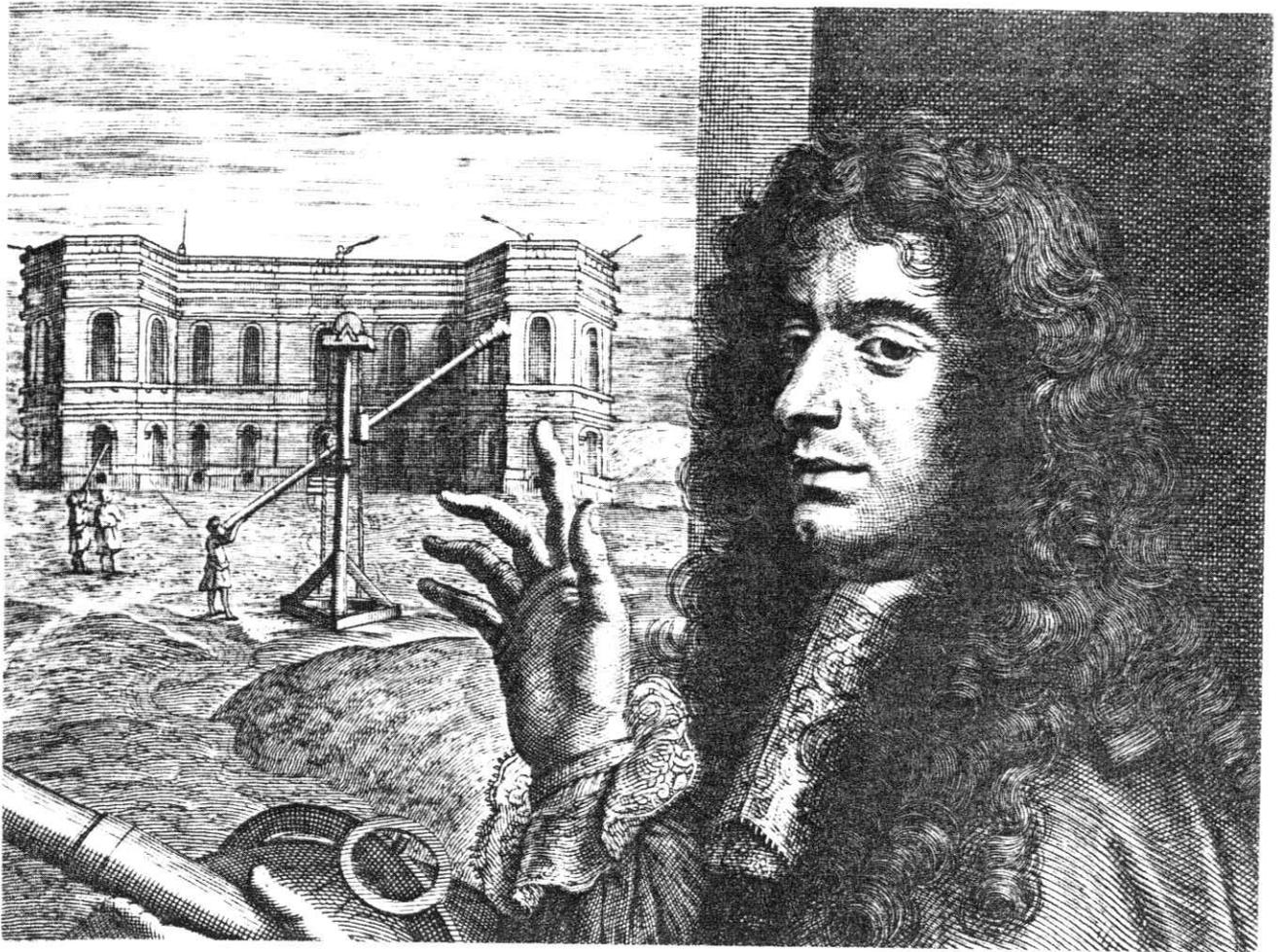
La carte de l'état major elle-même prendra un peu appui sur la carte de CASSINI pour le choix de l'échelle : on choisira $\frac{1}{80\,000}$ car c'est un bon compromis entre toutes les demandes et c'est assez proche de $\frac{1}{86\,400}$ (l'échelle de CASSINI)... on ne sera pas très dépaysé.

Ainsi s'achève cette longue histoire d'environ un siècle et demi.

ANNEXES

ANNEXE I : GENEALOGIE DE LA FAMILLE CASSINI





Jean Dominique CASSINI. En arrière-plan, l'Observatoire.



César François CASSINI DE THURY

60 LA CONNOISSANCE

moins, de la convexité de la surface de la Terre? Quelle est donc sa figure? Comme les phénomènes astronomiques & géographiques s'expliquoient plus facilement, en supposant que la Terre étoit une Sphère, on s'en tint à cette hypothèse, dont un heureux hasard & la pénétration de MM. Huygens & Newton défabuserent le Public. Lorsqu'ils eurent appris que M. Richer, faisant des expériences à Cayenne, avoit observé que les pendules qu'il avoit portées de Paris, faisoient des vibrations plus lentes sous l'Equateur; ils crurent que cela venoit de ce que la force centrifuge, c'est-à-dire, la force qui écarte les corps de la Terre, étoit, sous l'Equateur, plus grande que vers les Pôles; qu'en conséquence l'Equateur devoit être le plus grand cercle de la Terre, & que la force centripète, ou celle qui porte les corps au centre de la Terre, y étant moindre qu'ailleurs, les vibrations du pendule, comme la chute des corps, devoit y être plus lente. Je supprime ici quelque chose, de peur de n'être pas suivi aisément de ceux pour lesquels j'écris; & je dis qu'il résulta des expériences faites en conséquence, surtout de celles de MM.* de

* Envoyés en 1734 par ordre & aux frais du Roi, dans le Nord & au Pérou, pour déterminer la figure de la Terre.

DE L'ASTRONOMIE. 61

Maupertuis, Clairaut, le Camus, le Monnier, l'Abbé Outhier, Celsius, Bouguer, de la Condamine, & Godin, que la Terre est un sphéroïde surhaussé à l'Equateur, & aplati par les Poles, à peu près dans la forme d'une citrouille. Voyez la figure suivante, que j'ai un peu outrée pour la rendre plus sensible; car le diamètre pris d'un Pole à l'autre, n'est plus court que celui de l'Equateur, que d'une cent soixante & quinzisième partie, ou environ treize lieues.

Planche XI

Quant à la mesure du Globe terrestre, voici ce que les observations nous ont appris de plus précis. On compte qu'il a deux mille deux cents quatre-vingt-douze lieues de diamètre, seize millions cinq cents deux mille quatre cents lieues quarrées de surface, & six milliards trois cents trois millions neuf cents seize mille huit cents lieues cubiques de solidité.

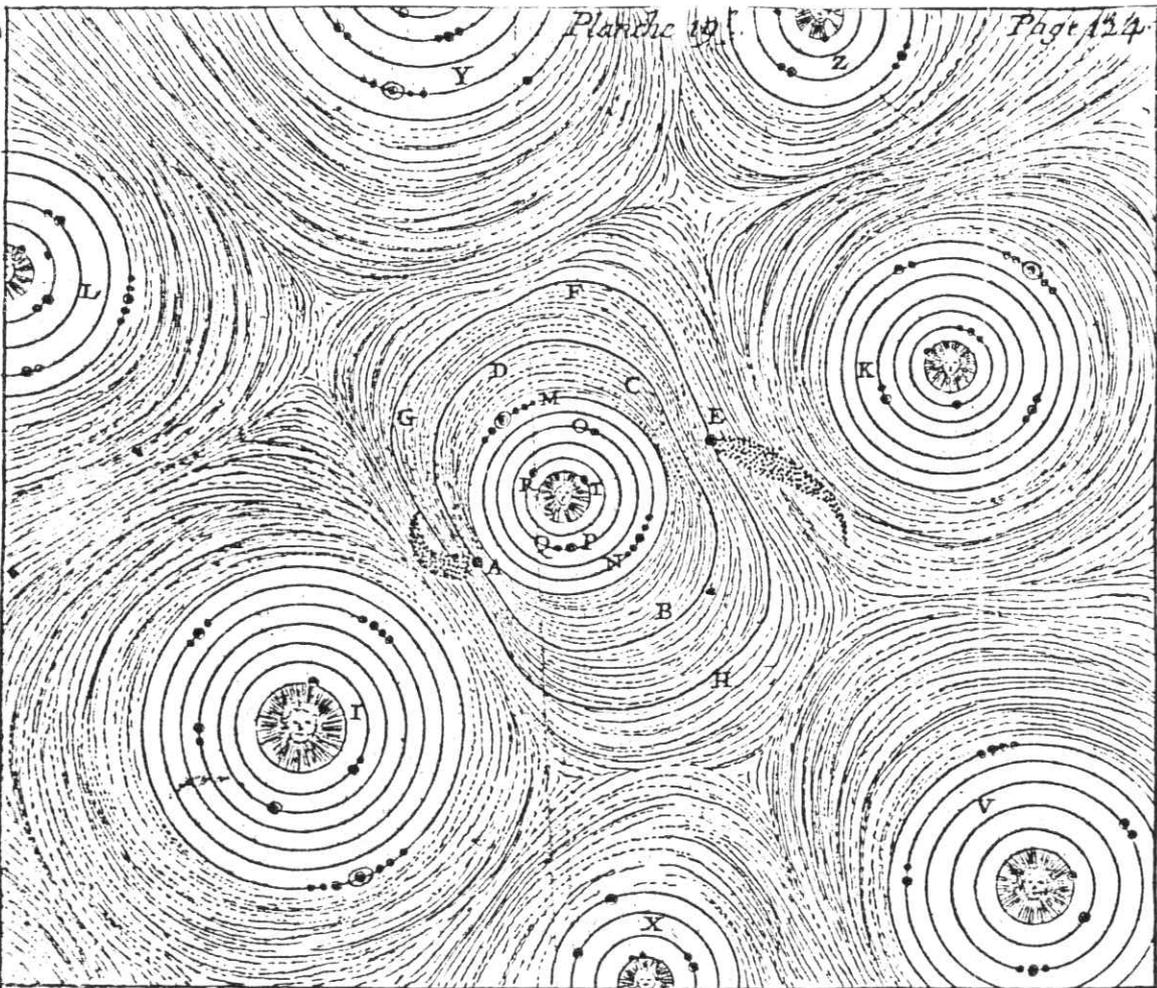
Je rappellerai ici ce que j'ai déjà dit en parlant des Eroiles, que la Terre tourne sur son axe en vingt-quatre heures, ou plutôt, en vingt-trois heures cinquante-six minutes trois secondes vingt-sept tierces: ce qui, joint à la différence de son mouvement annuel, produit vingt-quatre heures pour cette révolution, qui se faisant d'Occident en Orient, nous induit à

Mouvement de rotation.

Le Pere Maziere Prêtre de l'Oratoire, vient de donner au Public, un Traité des Tourbillons, où il fait voir que par les seuls effets du choc, que l'Univers est rempli d'une matiere très-fluide, très-agitée, & composée d'une infinité de tourbillons de figures spheriques, qui produisent tous les efforts de la nature. L'Auteur considerant les seuls effets du choc dans les Corps qui ont du ressort, tâche de faire voir que l'Univers est rempli de ce que l'on appelle Matiere subtile, c'est-à-dire d'une Matiere extrêmement fluide & agitée; ensuite il considere cette Matiere dans ces mêmes Corps qui ont du ressort; & il s'efforce de montrer que la Matiere dont il s'agit, est composée d'une infinité de Spheres très-fluides, qui produisent tous les ressorts de l'Univers, & que l'on nomme petits tourbillons.

Le Pere Maziere entreprend de prouver que le ressort est produit par un fluide, dont l'air emprunte sa fluidité & sa force; & que ce fluide sortant des corps au premier tems du choc, & y rentrant au second, cause par cette double action le bandement & le débandement des ressorts. Ces deux actions contraires & successives, que l'Auteur nomme Compression & Jestitution, sont sensibles dans les ballons enflés d'air, & l'esprit les apperçoit, dit-il, dans le Corps les plus durs, non fondée sur des expériences incontestables; mais encore indépendamment de toute expérience dans l'idée de deux corps qui rejaillissent après s'être choquez. L'Auteur

Ces Comètes apparoissent quand elle se rencontrent entre notre tourbillon et les tourbillons voisins I. K. ou à leur elle sont repoussées plus proche du nostre. Ces tourbillons I. K. L. P. X. Y. Z. sont ceux des étoiles fixes.



M. Orbe de Saturne, N. Orbe de Jupiter, O. Orbe de Mars, P. Orbe de la Terre, Q. La Lune, R. Orbe de Venus, T. Orbe de Mercure, S. Le Soleil.

Figure des Tourbillons Celestes. pour être mise entre les Pages...
 A. Comette qui tourne sans cesse sur son Orbe A. B. C. D.
 E. autre Comette qui tourne aussi sans cesse sur son Orbe E. F. G. H.

Explication de la maniere d'observer les longitudes par les Eclipses des Satellites de Jupiter.

Pour bien connoître en quoi consiste la justesse de ces observations, il faut avoir attention à deux choses : La premiere est la maniere d'observer les Eclipses des Satellites de Jupiter : & la seconde, le tems précis & juste des observations de ces Eclipses. On sçait que ces Satellites sont de petites Planetes qui tournent autour de Jupiter, selon les périodes marquées au Chapitre 12. Section 7. du premier Livre.

A l'égard de la premiere de ces deux choses, Jupiter étant un corps opaque, comme la Terre ou la Lune, il faut nécessairement qu'il fasse ombre à l'opposition du Soleil, comme la Terre fait, & cause une Eclipse à la Lune, quand elle s'y rencontre ; c'est pourquoy ce que nous dirons des Eclipses de ces Satellites, doit servir pour celles de la Lune.

Quand les Satellites de Jupiter se trouvent dans son ombre, ils souffrent Eclipse, qui dure plus ou moins de tems, selon que les mouvemens particuliers des Satellites se font avec plus ou moins de vitesse. Leurs Eclipses commencent, quand ils entrent dans l'ombre de Jupiter, & elles finissent, lorsqu'ils en sortent. Leur entrée dans l'ombre est appellée Immersion, & leur sortie de l'ombre, Emerision. Le tems propre à observer leur immersion est quand Jupiter se leve avant le Soleil, & le tems propre à observer leur emerision, est lorsque Jupiter se couche après le Soleil. Or comme le mouvement propre de Jupiter est beaucoup plus lent que celui du Soleil, d'abord après leur conjunction, Jupiter reste plus occidental, & par consequent se leve le matin avant le Soleil ; mais après leur opposition, Jupiter se leve après le Soleil, & paroît le soir après son coucher.

Pour faciliter les observations, on a des Tables que M. Cassini a données, par lesquelles on calcule le tems de l'immersion & de l'emerision des Satellites pour le Meridien de Paris, auquel ajoutant ou ôtant la difference des Meridiens du lieu où l'on observe à celui de Paris, selon la nature du lieu, c'est-à-dire, selon qu'il est plus oriental ou plus occidental de Paris, on connoît à peu près le tems de l'observation. Mais pour ne la pas manquer, on doit s'y préparer environ une heure auparavant le tems prescrit par les Tables. Comme le premier Satellite est celui qui va le plus vite de tous, il est le plus propre & le plus en usage dans les observations des longitudes ; car ayant seize fois plus de vitesse en son mouvement que la Lune, il parcourt en une heure environ huit degrez & demi, au lieu que le mouvement de la Lune n'est à peu près que d'un demi-degré ; ce qui fait que son mouvement est très-sensible : & il le paroît encore d'autant plus, lorsqu'il est aperçu par un Telescope, ou Lunette-d'approche, longue d'ordinaire pour ces sortes d'observations depuis dix jusqu'à

vingt pieds, laquelle faisant paroître le Satellite plus grand, fait aussi paroître son mouvement plus vite. Ainsi par cette grande vitesse, on peut marquer le moment précis de son immersion ou emerision par le moyen d'une Pendule à secondes bien réglée & bien rectifiée, qui est la seconde chose dont nous avons à parler.

Si, par exemple, deux personnes observent en même-tems la même immersion ou emerision du premier Satellite de Jupiter, l'un à Paris & l'autre à Lisbonne, chacun avec une Pendule bien rectifiée, & si celle de Paris marquoit 10. heures du soir, & celle de Lisbonne 9. heures, après avoir comparé le tems de ces deux observations, on concludroit que Paris est plus oriental que Lisbonne d'une heure, qui répond à 15. degrez : de sorte que si la longitude de Paris est de 20. degrez, celle de Lisbonne sera de cinq degrez.

Quoique la communication réciproque des observations semble nécessaire pour trouver la difference des longitudes jusqu'aux minutes, cependant les observateurs éloignez de Paris peuvent connoître immédiatement la longitude du lieu où ils sont par la comparaison de leurs observations avec les Ephemerides. Mais ces observations doivent se faire avec toute l'exacitude possible, puisque la difference d'une minute d'heure répond à 15. minutes de degré.

Les observations des Eclipses du premier Satellite de Jupiter se peuvent faire avec des lunettes de 10. à 12. pieds de longueur. Mais quand on se sert de plus longues lunettes, son diamètre en paroît plus grand, & l'on distingue mieux le moment précis de son immersion ou emerision totale : car ce Satellite ayant un diamètre sensible, une partie n'entre dans l'ombre qu'après l'autre ; or une partie qui n'est pas encore éclipsee, paroît à une plus longue lunete, tandis qu'elle ne paroît plus à une plus courte, qui n'a pas la force de l'augmenter suffisamment, ce qui fait qu'il paroît plutôt éclipsee ; c'est pourquoy il est à propos que les differens observateurs d'une même éclipse se servent de lunettes de même grandeur ; sinon, il faut avoir égard à leur difference pour déterminer un moment qui ait été précisément le même.

ANNEXE V - UN PAE INTERDISCIPLINAIRE D'HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES EN CLASSE DE SECONDE

I Pourquoi ?

Dans un premier temps, il s'agit d'élargir la "culture scientifique" des élèves ; de replacer les mathématiques (ou la physique) dans le contexte plus global de l'évolution sociale ou historique ; d'intéresser, si possible, les élèves qui ne sont pas particulièrement attirés par les sciences, ou qui y sont en difficulté ; de montrer un visage différent des mathématiques aux élèves qui les goûtent comme un pur jeu de l'esprit, ou comme le moyen privilégié d'accès à la TC...

Bref, essayer de faire en sorte que la relation aux mathématiques soit autre.

Il s'agit aussi d'apprendre aux élèves à réunir une documentation, l'exploiter, présenter leur travail ; de les initier à la lecture de textes anciens, même scientifiques.

Il s'agit enfin de travailler différemment, en décloisonnant les enseignements, en faisant un travail d'équipe, en offrant aux élèves un visage renouvelé des différentes matières.

II Comment ?

l'équipe : notre équipe comprend un professeur d'histoire, un professeur de lettres, un professeur de mathématiques, et la documentaliste. Au départ, il y avait aussi un collègue de physique, qui depuis s'est désisté ; c'est dommage, il nous manque, mais aucun physicien n'a voulu le remplacer.

la classe : est séparée en trois groupes, ayant chacun son centre d'intérêt : un groupe "scientifique", un groupe "historique", un groupe "littéraire", la participation ou PAE est obligatoire, mais chacun choisit son groupe, avec un impératif : que les groupes soient équilibrés (les classes sont d'environ 40 élèves, et les groupes sont déjà lourds). Le groupe "scientifique" n'est pas forcément choisi par les "bons en maths".

les conditions matérielles : se sont dégradées au fil des années. Au départ, un après midi était banalisé, environ toutes les trois semaines ; l'horaire étant pris majoritairement sur les heures de cours. (Les élèves fournissent certes un peu de travail supplémentaire, mais on ne peut leur en demander trop ; il s'agit de leur apporter un "plus", non de les pénaliser).

Pour le dernier PAE, les difficultés d'emploi du temps et de salles, ont fait que chacun devait pendant son cours préparer le travail, donner les directives, et pendant les T.D. de maths je supervisais le tout, avec l'aide de la documentaliste, en particulier tout le travail d'exposition fut réalisé ainsi. (6 séances environ).

le suivi des élèves : au départ étaient prévus des "tests" pluridisciplinaires, et la constitution d'un dossier par chaque élève. Ceci pendant être pris en compte, en fin d'année, pour l'orientation en première.

La charge importante de travail nous a finalement fait reculer : en fait, la réalisation de l'exposition est une incitation suffisante à prendre le travail au sérieux.

III Quoi ?

Le choix du sujet de l'année est assez délicat. Il peut s'avérer décevant ou difficile à mettre en oeuvre.

Nous avons choisi par exemple, la première année, tout naïfs et pleins de fougue : "quelques grandes étapes de la mécanique d'Aristote à Newton" -sujet passionnant et enrichissant mais un peu trop vaste-

Une autre année nous avons choisi : "Leibniz et son temps", un peu trop pointu et délicat du point de vue des mathématiques.

Le dernier PAE entrepris sur la "carte de Cassini" a permis une activité pluridisciplinaire fructueuse, des ouvertures s'offrant à tous moments, il suffisait de choisir.

IV Réalisation du PAE : la carte de Cassini

Recueil de la documentation : c'est un aspect du thème qu'il faut souligner. Contrairement à d'autres sujets, les élèves ont pu, ici, participer activement à la recherche. Nous sommes dans un lycée éloigné de tout centre universitaire ou grande bibliothèque ; la plupart du temps nous sommes amenés à proposer aux élèves nos documents ou textes personnels qu'ils n'ont plus qu'à exploiter. Mes collègues et moi-même ne nous étions jamais particulièrement penchés sur les problèmes de cartographie, aussi nous avons glané les premiers renseignements dans les encyclopédies du CDI ; avec la documentaliste nous avons recensé quelques adresses et nous avons écrit. C'est un aspect du projet qui est finalement plein d'enseignement pour les élèves. D'autant que nous avons reçu une documentation substantielle et des indications bibliographiques fort utiles.

Les ressources locales ne furent pas non plus négligeables : recherche de cartes anciennes, comparaison avec les cartes IGN actuelles, recherche de lieux-dits disparus, qui ont servi de repères pour la triangulation de Cassini...

Nous avons reçu des documents essentiellement de l'observatoire de Paris et de l'IGN ; soulignons aussi l'aide importante des IREM, qui nous a permis d'obtenir les textes de Cassini. Nous avons par ailleurs découvert une somme assez importante d'articles de journaux, revues et livres sur le sujet.

Lecture des documents, choix des thèmes d'étude

La lecture des textes du XVII^e ou XVIII^e siècle par des élèves de seconde n'est pas très aisée tant à cause de l'écriture que de certaines notations aujourd'hui peu usuelles ou abandonnées. Et il faut reconnaître que de prime abord le sujet semble un peu ardu. Nous avons donc fait une liste d'axes de recherche.

1) éclaircir les notions de longitudes et latitudes ; par exemple, calculer la distance de 2 points du globe dont on connaît les coordonnées (sujet assez délicat d'autant que les Cassini mesurent en général les distances en degrés, minutes, secondes, comme arcs de cercles, le cas échéant converties en toises).

2) éclaircir la polémique sur la forme de la terre et les expéditions en Laponie et au Pérou (en liaison avec la littérature, essentiellement les écrits de Voltaire).

3) se familiariser avec quelques systèmes de projection et les erreurs commises en représentant des portions de terre sur une surface plane (ce sujet est abordé assez longuement dans "description géométrique de la France" p. 23-24).

4) comprendre les procédés techniques utilisés pour la carte de France et le principe mathématique de la triangulation.

5) examiner les instruments de mesure, leurs perfectionnements, les procédés de visée, les calculs d'erreurs [cf : "degré du méridien entre Paris et Amiens", et "de la grandeur et de la figure de la terre" (suite des mémoires de 1718)].

6) s'intéresser aux connaissances astronomiques du XVII^e et du XVIII^e siècle pour comprendre comment faire le point à partir du soleil, des satellites de Jupiter.

7) rechercher enfin les retombées de ce travail gigantesque dont la plus célèbre est peut-être la mise en place du système métrique, mais aussi la descendance des cartes topographiques et la comparaison avec les cartes actuelles.

Quelques compléments sur le travail effectué

1) La nécessité d'une chronologie s'est faite sentir très rapidement pour avoir quelques repères historiques ou culturels car les mémoires de Cassini III et IV font largement appel.

2) Le sujet s'avéra très fructueux sur le plan de la complémentarité entre matières (les problèmes de la cartographie, entre autres, sont au programme de géographie de 2^{nde}).

3) Pouvoir s'intéresser aux cartes locales, était un atout supplémentaire.

4) Nous avons bénéficié de l'aide de Xavier LEFORT et du matériel de la section "génie civil" de l'IUT de Saint Nazaire, que les élèves ont manipulé.

V Un petit bilan

Nous avons l'espoir que de tels travaux peuvent laisser des traces dans l'histoire scolaire des élèves. Avec le recul, des élèves arrivés en TA2 ont continué à prendre goût aux sciences, à écouter certaines émissions de France culture et en parler avec passion avec le professeur de mathématiques ; certains élèves de TC semblent avoir compris que l'on peut réfléchir autour des maths, et ont une approche différente.

Ce n'est qu'un début, mais nous avons l'espoir que le virus grogne du terrain.

J'ajouterai par ailleurs, qu'un tel PAE est complémentaire de ce qui se passe dans le cours du point de vue de l'histoire des mathématiques, c'est une autre approche, où l'on se donne un peu plus de temps, où l'on se donne le droit de sortir du programme.

BIBLIOGRAPHIE

| | | |
|---------------------|--|-----------------------------------|
| ALINHAC | Histoire de la cartographie. | IGN 1986 |
| DURANTHON | La carte de France et son histoire. | SOLARAMA 1978 |
| KISH | La carte image de la civilisation. | SEUIL 1976 |
| LACOMBE ET COSTABEL | La figure de la terre du XVIIIème siècle à l'ère spatiale. | GAUTHIER-VILLARS 1988 |
| LEVALLOIS | Trois cents ans de géodésie française. | IGN 1990 |
| MARTIN | La figure de la terre. | ISOETE 1987 |
| MARGOT-DUCLOS | La France à l'échelle, histoire de la cartographie. | SOLAR 1978 |
| PELLETIER | La carte de CASSINI | Presse des Ponts et Chaussée 1990 |
| TRYSTRAM | Le procès des étoiles. | SEGHERS 1979 |
| ... | Jean PICARD et les débuts de l'astronomie de précision au XVIIè. | CNRS 1987 |

REVUES ET CATALOGUES

| | |
|---|------------------------|
| Catalogue de l'exposition PICARD | OBSERVATOIRE 1982 |
| Catalogue de l'exposition sur la mesure du méridien | BEAUBOURG 1980 |
| Revue "La vie des Sciences" | T.3 N° 3 mai-juin 1986 |
| Revue "XYZ" Association de topographie | n° 2 -3-17-32-33 |
| Annales de Géographie (articles de L. GALLOIS) | n° 99-100 de 1909 |
| Actes du Colloque inter-IREM de Strasbourg (article de E. BARBIN) | 22-23 mai 1987 |

OUVRAGES ANCIENS

| | | |
|------------------|---|-------|
| BION | "L'usage des globes célestes et terrestre..." | 1738 |
| CASSINI J.D. | "5è mémoire sur la carte de France" | 171 ? |
| CASSINI DE THURY | "La Méridienne de l'Observatoire de Paris." | 1744 |
| CASSINI DE THURY | "Description géométrique de la France" | 1783 |
| CLERMONT | "Géométrie pratique de l'ingénieur" | 1693 |
| D'ALEMBERT | "Figure de la terre " l'Encyclopédie | 1765 |
| DICQUEMARE | "La connaissance de l'Astronomie..." | 1771 |
| MAUPERTUIS | "Le degré du méridien entre Paris et Amiens" | 1740 |
| PICARD | "La mesure de la terre" | 1671 |

Extraits des Registres et Mémoires de l'Académie Royale des Sciences.



Titre : Mesurer aussi bien la Terre que le ciel

Auteurs : Anne BOYÉ – Xavier LEFORT

Niveau :

Date : 1993

Mots clés : Cartographie, forme, mesure.

IREM des Pays de la Loire
Centre de Nantes
2, rue de la Houssière – BP 92208
44322 NANTES CEDEX 03