

---

## La question de la figure de la Terre. L'agonie d'un débat scientifique au XVIIIe siècle.

M Antonio Lafuente, M Jose Luis Peset

### Résumé

RÉSUMÉ. — L'objet de cet article est de mettre en relief la signification qu'auront pendant la première moitié du XVIIIe siècle les observations astronomiques et géodésiques réalisées pour résoudre la polémique concernant la figure de la Terre. Après avoir analysé les termes dans lesquels s'établit ce débat, on montre l'incertitude théorique et expérimentale des résultats obtenus dans les expéditions réalisées en France, en Laponie et à Quito. L'impossibilité de présenter une valeur satisfaisante de l'aplatissement polaire a conduit les académiciens à faire une sorte d'expérience géodésique, qui a été à l'origine de la géodésie en tant que nouvelle discipline scientifique.

### Abstract

SUMMARY. — The aim of this paper is to point out the significative importance of the astronomical and geodesical observations made during the first half of the eighteenth century, observations directed to solve the polemic question of the earth shape. After analyzing the terms of the debate, clearly results the theoretical and experimental incertitude experimented by the scientists as a consequence of the date obtained from the expeditions to France, Lapland and Quito. The impossibility of obtaining a satisfactory value for the polar flattening impeled the scientists to design a kind of geodesic experiment, and this fact was at the origin of a new scientific discipline, geodesy.

---

### Citer ce document / Cite this document :

Lafuente Antonio, Peset Jose Luis. La question de la figure de la Terre. L'agonie d'un débat scientifique au XVIIIe siècle.. In: Revue d'histoire des sciences, tome 37, n°3-4, 1984. pp. 235-254;

doi : <https://doi.org/10.3406/rhs.1984.2038>

[https://www.persee.fr/doc/rhs\\_0151-4105\\_1984\\_num\\_37\\_3\\_2038](https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_1984_num_37_3_2038)

---

Fichier pdf généré le 08/04/2018

# La question de la figure de la Terre<sup>(\*)</sup>

## L'agonie d'un débat scientifique au XVIII<sup>e</sup> siècle

**RÉSUMÉ.** — L'objet de cet article est de mettre en relief la signification qu'auront pendant la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle les observations astronomiques et géodésiques réalisées pour résoudre la polémique concernant la figure de la Terre. Après avoir analysé les termes dans lesquels s'établit ce débat, on montre l'incertitude théorique et expérimentale des résultats obtenus dans les expéditions réalisées en France, en Laponie et à Quito. L'impossibilité de présenter une valeur satisfaisante de l'aplatissement polaire a conduit les académiciens à faire une sorte d'expérience géodésique, qui a été à l'origine de la géodésie en tant que nouvelle discipline scientifique.

**SUMMARY.** — *The aim of this paper is to point out the significative importance of the astronomical and geodesical observations made during the first half of the eighteenth century, observations directed to solve the polemic question of the earth shape. After analyzing the terms of the debate, clearly results the theoretical and experimental incertitude experimented by the scientists as a consequence of the date obtained from the expeditions to France, Lapland and Quito. The impossibility of obtaining a satisfactory value for the polar flattening impeded the scientists to design a kind of geodesic experiment, and this fact was at the origin of a new scientific discipline, geodesy.*

L'objet de cet article est de présenter les résultats obtenus par les différentes expéditions entreprises dans la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle pour résoudre le débat soulevé autour de la question si controversée de la figure de la Terre. Nous nous proposons donc, plutôt que de passer en revue les faits les plus marquants de cette

(\*) Ce travail fait partie d'une étude plus détaillée sur « la question de la figure de la Terre et l'expédition géodésique hispano-française à la vice-royauté du Pérou (1734-1743) » réalisée à l'Institut Arnau de Vilanova de CSIC avec la coopération du Centre Alexandre Koyré de Paris. Nous avons bénéficié de l'appui de tous les chercheurs des centres où nous avons travaillé et nous aimerions remercier particulièrement le P<sup>r</sup> René Taton pour ses suggestions et ses conseils et le P<sup>r</sup> Ch. C. Gillispie qui a relu notre projet de travail avec beaucoup d'amabilité et de compétence.

polémique, d'analyser globalement les conclusions qu'en ont tirées certains de ses participants les plus actifs. L'analyse des contributions effectuées dans de nombreux pays par un grand nombre d'astronomes et de mathématiciens, contributions en parties manquées puisqu'elles n'aboutirent à l'adoption d'aucune valeur précise de la mesure de l'aplatissement polaire, bien que prouvant sa réalité physique, marquent, à notre avis, la naissance d'une nouvelle discipline scientifique. En effet, le résultat le plus remarquable de ces expéditions scientifiques sera l'apparition de la géodésie, en tant que spécialité à mi-chemin entre l'astronomie pratique et la géographie. On affirme parfois que les observations géodésiques réalisées par J. Picard, vers 1670, entre Paris et Amiens constituent le point de départ de cette science, mais, sans vouloir ôter de l'importance à ces opérations, fondement solide pour celles qui suivirent et point de repère nécessaire pendant la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, nous ne pensons pas que cette hypothèse soit la plus vraisemblable, d'abord en raison de la précarité des moyens avec lesquels elles furent réalisées et du grand nombre de problèmes théoriques auxquels elles se heurtèrent. Mais, surtout, nous ne considérons pas comme condition suffisante l'existence de quelques instruments ou d'un nombre minime d'expériences pour que puisse se produire la naissance d'une nouvelle science suffisamment structurée et capable de se matérialiser pragmatiquement par une série d'objectifs concrets et de techniques de recherche de grande fiabilité. Il aurait fallu, en plus d'un vaste matériel d'expérimentation et d'une quantité importante d'experts, l'existence d'une puissante pression sociale qui eût poussé de manière décisive la communauté scientifique à isoler une partie de la réalité et à hiérarchiser les problèmes dispersés à l'origine qui constituaient cette thématique. Nous pensons qu'un tel processus, issu de la polémique sur la figure de la Terre, trouva sa conclusion dans la présentation des résultats de « l'expédition La Condamine » en Amérique et dans la réflexion qui s'ensuivit sur la portée et les limites du projet entrepris.

#### ORIGINE ET FIN D'UNE POLÉMIQUE

Les *Principia* de Newton contenaient (livre III, prop. XVIII-XX) la démonstration, à partir des premiers principes, du fait que la Terre était un sphéroïde aplati aux deux pôles. En partant d'hypothèses

néo-cartésiennes, Huygens publie peu après son *Discours sur la cause de la pesanteur* (1690) dans lequel, en désaccord avec le principe d'attraction universelle, il conclut également à un aplatissement polaire mais de valeur différente. Ce n'est pas cette légère divergence de chiffres qui pouvait empêcher le débat plus vaste qui devait bientôt opposer les newtoniens et les cartésiens, ni son éclaircissement qui pouvait, comme l'avait annoncé Newton, avoir des conséquences significatives sur la géographie ou la navigation (1). Bientôt, cependant, la poursuite des travaux commencés par J. Picard et continués par G. D. Cassini et son fils Jacques concernant la méridienne de Paris allait conduire à des conclusions très différentes ; car, à partir des méthodes empiriques de l'astronomie pratique et de la géographie, l'analyse des renseignements obtenus rendait plus plausible la thèse d'une Terre oblongue, aplatie à l'équateur (2). A cette contradiction entre théorie et expérience, on allait ajouter, quelques années plus tard, celle, non moins décisive, entre deux approches de l'étude du monde physique, aussi éloignées l'une de l'autre que les points de vue cartésien et newtonien. En effet, en 1722, Dortous de Mairan publia un mémoire célèbre où, partant d'hypothèses strictement cartésiennes, il dotait d'un support théorique les conclusions défendues par les astronomes de l'Académie des Sciences (3). A partir de ce moment, le débat autour de la figure de la Terre subit un lent processus d'idéologisation au cours duquel des arguments

(1) Newton l'avait affirmé bien clairement (*Principia*, Livre III, Prop. XX) : « ... it appears that the inequality of degrees is so small that the figura of the earth, in geographical matters, may be considered as spherical ; specially if the earth be a little denser towards the plane of the equator than towards the poles. » Cette affirmation contraste avec celles, tout aussi nettes, qui, quelques décennies plus tard, prévoyaient que les différents pays engagés dans des expéditions scientifiques susciteraient de grands progrès pour la géographie et la navigation. De l'abondante bibliographie sur la question de la figure de la Terre, nous ne citerons que quelques titres particulièrement significatifs : J.-F. Lalande, *Astronomie*, 3 vol., Paris, 1772 ; I. Todhunter, *A history of the mathematical theories of attraction and the figure of the earth*, 2 vol., London, 1873 ; D. H. Hall, *History of the earth sciences during the scientific and industrial revolutions with special emphasis on the physical geosciences*, Amsterdam, 1976. P. Brunet a également écrit de belles pages sur ce sujet (*Maupertuis*, 2 vol., Paris, 1929 ; *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII<sup>e</sup> siècle. Avant 1738*, Paris, 1931).

(2) Les aspects les plus expérimentaux de la polémique sont traités de façon préférentielles par J.-B.-J. Delambre (*Grandeur et figure de la Terre*, Paris, 1812, et *Histoire de l'Astronomie au dix-huitième siècle*, Paris, 1827) ; A. D. Butterfield (*History of the determination of the figure the earth from arc measurements*, Worcester, Mass., 1906), et J. Loridan (*Voyage des astronomes français à la recherche de la figure de la Terre et de ses dimensions*, Lille, 1890).

(3) Le mémoire cité de Dortous de Mairan est « Recherches géométriques sur la diminution des degrés terrestres en allant de l'équateur vers les pôles, où l'on examine les conséquences qui en résultent, tant à l'égard de la figure de la Terre, que de la pesanteur des corps et de l'accourcissement du pendule », *Mémoires de l'Académie des Sciences* (Paris), 1720, p. 231-237.

non scientifiques, et notamment ceux de caractère nationaliste, prirent une importance croissante.

En 1725, J. T. Desaguliers, membre célèbre de la « garde » newtonienne à Londres, publie une série de trois mémoires dans les *Philosophical Transactions* où il essaie de démontrer l'imprécision des observations de Cassini et juge mauvais et peu sensé le mémoire de Dortous de Mairan (4). En résumé, il s'agissait d'une violente attaque contre la science française et d'une défense passionnée du principe de la gravitation universelle. Sans faire l'analyse de son contenu, réalisée plus tard par Maupertuis (5), on peut dès maintenant souligner l'impact qu'il eut dans la nouvelle génération des « jeunes géomètres » qui faisait alors ses premiers pas dans la science (6). Par contre, il est vrai que l'accueil très favorable accordé par l'Académie à l'ouvrage de Jacques Cassini *De la grandeur et de la figure de la Terre* (1722) nous paraît encore étonnant aujourd'hui.

Etudions en détail le résultat de ses opérations. Au sud de Paris, sur l'arc de 6° 19', on obtient un degré moyen de 57 099 toises ; au nord, à 2° 12', cette valeur était de 56 960 toises. Donc une différence de 137 toises — 3,7 fois plus grande que celle obtenue en 1713 — lui permettait de tirer des conclusions dont le caractère hâtif n'aurait pas dû échapper à une telle assemblée (7). Pendant les premières décennies du XVIII<sup>e</sup> siècle, on pensait qu'il était impossible d'effectuer des observations astronomiques d'une précision supérieure à 10'' ; cependant, le degré Paris-Dunkerque fut déterminé avec un arc

(4) J. T. Desaguliers, A dissertation concerning the figure of the Earth, *Philosophical Transactions*, vol. 33, 1724-1725, n<sup>os</sup> 386, 387 et 388, p. 201-202, 239-255, 277-304 et 344-305.

(5) *Examen des trois dissertations que M. Desaguliers a publiées sur la figure de la Terre, dans les « Transactions philosophiques »*, n<sup>os</sup> 386, 387 et 388, ce mémoire fut inclus dans la deuxième édition (Amsterdam, 1741) de l'*Examen désintéressé des différents ouvrages qui ont été faits pour découvrir la figure de la Terre* (1738).

(6) Le qualificatif « jeunes géomètres », appliqué au cours de cette polémique principalement à Maupertuis, Clairaut et La Condamine, prétendait établir entre les membres de l'Académie un critère distinguant deux modes différents d'aborder l'étude de la nature, qui correspondaient à des attitudes divergentes à l'égard des thèses de Newton. Cette dénomination, aujourd'hui généralisée dans la littérature spécialisée, est due à plusieurs témoins comme L. Anglivel de La Beaumelle ou Voltaire, mais c'est d'Alembert qui en répandit l'usage dans son *Discours préliminaire à l'Encyclopédie*.

(7) Maupertuis, Voltaire ou Celsius ont consacré quelques pages à cette question, mais c'est Delambre qui a critiqué le plus clairement cette malheureuse déviation du jugement académique, lorsqu'il écrit avec son style caustique habituel : « Il nous semble que, si un pareil ouvrage avait été présenté à l'Académie par un savant étranger à ce corps, les commissaires (...) en avouant que la mesure avait été faite avec tous les soins que pouvait alors demander la Géographie, auraient ajouté que cette mesure était trop imparfaite pour en conclure la figure de la Terre » (J.-B.-J. Delambre, *Grandeur...*, p. 24-25).

de 2° 12' qui, dans une telle hypothèse, aurait pu produire une erreur de plus de 150 toises. Si on y ajoute les 35 ou 40 toises possibles du degré Paris-Collioure, on voit que l'incertitude qui pesait sur les données utilisées par Cassini aurait dû susciter une attitude plus prudente de la part de l'Académie.

Nous ne sommes pas les premiers à souligner un fait qui a déjà été dénoncé, avec des nuances différentes, par d'Alembert, Delambre, Maury ou Taton (8) entre autres. Pour ceux-ci, les préjugés nationaux, l'obstination, les passions confondues avec le zèle... furent des facteurs déterminants. Les témoignages montrant Fontenelle en tant que représentant d'une majorité silencieuse serrant les rangs autour de l'orthodoxie cartésienne sont nombreux ; ainsi, par exemple, il assurait en 1732 :

« Il est évident que les mesures actuelles — se rapportant à celles de Cassini — doivent être préférées à ce qui résulte des théories géométriques — celles de Newton et Huygens — fondées sur un très petit nombre de suppositions très simples, d'où l'on écarte à dessein toute la complication du physique et du réel. Si Jupiter est un sphéroïde aplati, il se sera trouvé plus exactement des circonstances requises par la théorie, mais il n'aura pas empêché la Terre d'en sortir » (9).

Mais cette défense intéressée des résultats d'observations face aux principes théoriques, qui violait le principe de la validité universelle des lois de la physique, augmentait la tension causée déjà par l'impression désagréable qu'avait introduite en Angleterre le célèbre « Eloge de Newton » par Fontenelle (10). Les temps n'étaient plus propices à ces derniers chants du cygne du cartésianisme. La même année, Maupertuis publia deux mémoires célèbres et son *Discours sur la figure des astres* (1732), qui constituent les premiers exposés publics en faveur des thèses de Newton faits dans les milieux académiques. Autour de cet « apôtre de Locke et de Newton en France », comme le dénommera Voltaire, se regroupe un mouvement newtonien nette-

(8) Aux remarques des notes 6 et 7, il faut ajouter ici notre accord avec l'opinion de A. Maury (« Les préjugés nationaux, comme les préjugés religieux, exerçaient, on le voit, une influence fâcheuse sur la compagnie », in *L'ancienne Académie des Sciences*, Paris, 1864, p. 55) et avec celle de R. Taton (« His direct successors — se référant à G. D. Cassini —, moreover, were to defend this hypothesis with a certain obstinacy », Gian Domenico Cassini, in *Dictionary of Scientific Biography*, vol. III, p. 103).

(9) Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1732, p. 131.

(10) Voir le commentaire que consacre Voltaire à la lettre sur Descartes et Newton concernant ce sujet, dans ses *Lettres philosophiques*, ainsi que Ch. C. Gillispie, Fontenelle and Newton, in *Isaac Newton's papers and letters on Natural Philosophy*, I. B. Cohen, éd., 2<sup>e</sup> éd., Cambridge, 1978, p. 427-443.

ment partisan de l'aplatissement de la Terre aux pôles (11). Voltaire et Anglivel de La Beaumelle nous ont parlé de sa stratégie pour combattre la fermeté des membres influents de l'Académie face au principe de la gravitation universelle (12). Et peut-être ses intrigues et publications auraient-elles atteint leur but si le prestigieux Bernoulli, qui qualifia en 1734 d'extraordinairement exactes les observations géodésiques réalisées jusqu'à cette époque sur le méridien de Paris (13), n'était pas intervenu de façon décisive dans la polémique pour savoir qui, des deux groupes d'adversaires, solliciterait de l'Académie et du secrétariat de la Marine — dirigé alors par le comte de Maurepas — la réalisation de nouvelles observations qui mettraient un terme au débat. Lors de la dernière séance de l'Académie de 1733, Godin propose, dans la ligne d'une idée précédente de La Condamine, une expédition dans les terres américaines proches de l'équateur (14). Cette proposition, acceptée aussitôt, sera suivie d'une autre de Maupertuis concernant une expédition dans le nord de l'Europe et d'un remarquable effort technique et théorique, vérifiable dans les *Mémoires de l'Académie royale des Sciences* entre 1732 et 1735, pour élucider les principaux problèmes que devraient présenter tant la réalisation des observations que leur interprétation postérieure (15). Au milieu de cette polémique, dans une ambiance fortement chargée d'idéologies, tous croyaient à la possibilité d'observations concluantes qui donneraient raison à leur point de vue. L'expédition de Laponie devait finir ses travaux rapidement et les résultats furent bientôt

(11) L'enthousiasme de Voltaire pour le *Discours...* de Maupertuis est évident et on peut le vérifier dans sa correspondance. Le 29 avril 1734, il écrit à Maupertuis, après s'être déclaré son prosélyte : « Il faut s'il vous plaît que vous deveniez chef de secte. Vous êtes l'apôtre de Locke et de Newton » (*The complete Works of Voltaire*, T. Besterman (ed), D. 759). Voir M. S. Staum (Newton and Voltaire : constructive skeptics, *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 62, 1968, p. 29-56 ; P. Casini (Maupertuis et Newton, *Actes de la Journée Maupertuis*, Paris, 1975, p. 113-140) ainsi que l'ouvrage de A. Lafuente et J. L. Peset, *Maupertuis, el orden verosímil del cosmos*, Madrid, Alianza Editorial, sous presse.

(12) Voir à ce sujet l'anecdote racontée par L. Anglivel de La Beaumelle, *Vie de Maupertuis*, Paris, 1856, p. 33.

(13) Le texte de J. Bernoulli auquel nous nous rapportons est le suivant : « Après cette heureuse conformité de notre théorie avec les observations célestes, peut-on plus longtemps refuser à la Terre la figure de sphéroïde oblong, fondé d'ailleurs sur la dimension des degrés de la méridienne, entreprise et exécutée par le même M. Cassini, avec une exactitude inconcevable ? » (Essai d'une nouvelle physique céleste, *Opera Omnia*, t. III, p. 261-364 ; texte cité, p. 354-355).

(14) Les *Procès-Verbaux de l'Académie des Sciences* (séance du 23 décembre 1733) mentionnent que « M. Godin a commencé à lire un Ecrit sur l'utilité d'un voyage sous l'Equateur ».

(15) Les mémoires présentés à l'Académie concernant la géodésie et le problème de la figure de la Terre ont été très nombreux. D. H. Hall a réalisé une analyse bibliométrique de la croissance de cette littérature (*History of the earth sciences...*, graphiques des p. 183 et 189). P. Brunet a tenté d'étudier leurs contenus et leur signification (*Maupertuis*, II, p. 89-166).

connus. Maupertuis, Clairaut, Lemonnier, Camus présentèrent comme certains la confirmation de la victoire des idées de Newton. Bien que leurs observations n'aient pas été aussi parfaites qu'eux-mêmes l'assuraient (16), ce long débat engagé évoluait vers une phase d'agonie dans laquelle ne manquèrent ni les attaques personnelles, ni diverses preuves empiriques fournies par l'astronomie et la mécanique céleste, qui confirmaient la plus grande vraisemblance des thèses de Newton. Mais il existe sur ce point un témoignage critique qui mérite d'être cité et commenté. Lors de la préparation de l'expédition, Maupertuis écrivit à son ancien maître J. Bernoulli pour l'informer de ses projets et lui demander conseil. La réponse du célèbre mathématicien de Bâle ne se fit pas attendre :

« Mais, dites-moi — écrivait Bernoulli le 8 mai 1735 —, les observateurs ont-ils quelque prédilection pour l'un et l'autre des deux sentiments ? Car s'ils sont portés pour la Terre aplatie, ils la trouveront sûrement aplatie ; si au contraire ils sont imbus de l'idée pour la terre allongée, leurs observations ne manqueront pas de confirmer son allongement : le pas du sphéroïde comprimé pour devenir allongé est si insensible, qu'il est aisé de s'y tromper si on veut être trompé en faveur de l'une ou l'autre opinion. Toutefois, supposant que les observations décident contre moi, je me suis déjà muni d'une réponse convenable, qui me mettra à l'abri de toute objection, ainsi j'attendrai de pied ferme le résultat des observations américaines » (17).

La réponse de Bernoulli lançait une ombre de doute sur les résultats de l'expédition, avant même que celle-ci fût réalisée. L'engagement de Maupertuis et de Clairaut pour Newton était si net qu'on pouvait présupposer de leur part une inflexion volontaire des résultats obtenus. La même thèse, mais en sens inverse, sera soutenue par Maupertuis quelques années plus tard. Dans sa réponse, Bernoulli présentait également une critique sérieuse des possibilités effectives de l'astronomie pratique pour résoudre un débat qui se déplaçait de plus en plus vers le domaine de la mécanique céleste. De fait, en 1743, au moment du retour des premiers membres de l'expédition américaine, Clairaut publia sa célèbre *Théorie de la figure de la Terre* où il démontrait l'existence d'une marge étroite d'oscillation entre

(16) Voir la critique qu'en fit J.-B.-J. Delambre, *Grandeur...*, p. 54-63. Sur les problèmes concernant l'organisation et le développement des opérations, voir C.-J. Nordmann, L'expédition de Maupertuis et Celsius en Laponie, *Cahiers d'Histoire mondiale*, X-1, 1966, p. 74-97.

(17) Cité par H. Brown, *Science and the Human Comedy. Natural Philosophy in French Literature from Rabelais to Maupertuis*, Toronto et Buffalo, 1976, p. 174-175.

les limites supérieure (1/230) et inférieure (1/573) de l'aplatissement polaire de la planète (18). Une marge d'erreur aussi réduite exigeait une précision dans les mesures qui ne pouvait être garantie par les moyens matériels de l'astronomie de l'époque. De plus, reconnaissant l'existence de preuves suffisantes pour la gravitation universelle, au sujet de la figure de la Terre, Clairaut était d'accord avec Bernoulli sur la nécessité d'attendre les résultats de l'expédition à Quito :

« La théorie précédente se trouve donc d'accord avec toutes les Mesures du pendule et avec l'observation des diamètres de Jupiter ; s'il arrive, outre cela, que les mesures que nous attendons du Pérou comparées à celles qui ont été faites en Laponie, rendent la différence des Axes moindre que 1/230, cette théorie aura toute la confirmation possible, et la gravitation universelle qui s'accorde si bien avec les mouvements des planètes s'accordera encore avec leurs figures » (19).

Cette attitude respectueuse de Clairaut ne peut dissimuler, cependant, son scepticisme voilé quant à la fiabilité de l'objectif pour lequel l'expédition avait été projetée à l'origine. Comme on le voit, la non-confirmation éventuelle des thèses de Newton ne pourrait en aucun cas remettre en question le principe de la gravitation universelle.

#### L'EXPÉDITION AMÉRICAINE ET LA CONFRONTATION DES RÉSULTATS

Aussi bien l'expédition dans la vice-royauté du Pérou que celle qui fut effectuée en Laponie ou réalisée sur le territoire français avaient un objectif clair, la détermination de la valeur d'un degré de méridien, et un programme d'opérations qui paraissait à l'origine facile à réaliser. Ce programme, qui avait été soigneusement préparé à partir de l'expérience accumulée pendant les années précédentes, permit la réalisation rapide des opérations géodésiques et astronomiques prévues en Laponie et en France. Cependant, les membres de l'expédition américaine rencontrèrent de nombreuses difficultés qui non seulement les retinrent dans les plaines équatoriales pendant neuf ans, mais de plus estompèrent l'apparente clarté de leurs objectifs de départ. Sans vouloir donner ici une analyse détaillée de leurs

(18) A part l'ouvrage de I. Todhunter, cité à la note 1, sur le sujet des limites de l'aplatissement polaire et de son évolution historique, on peut consulter P. Appell, *Traité de Mécanique rationnelle*, IV, 2<sup>e</sup> éd., Paris, 1937, p. 14 sq. et 204 sq. Et, naturellement, A.-C. Clairaut, *Théorie de la figure de la Terre tirée des principes de l'hydrostatique*, Paris, 1743, p. 59-82.

(19) A.-C. Clairaut, *Théorie...*, p. 305.

travaux, notre but est de décrire sommairement quelques-uns des événements les plus significatifs du processus d'élaboration et de définition de leur programme de recherches (20).

Il faut insister tout d'abord sur le rôle négatif du climat de confrontation personnelle quasi permanente entre les membres de cette expédition, en même temps que sur les difficultés dues à l'hostilité du milieu orographique et aux multiples conflits avec l'administration coloniale espagnole (21). En effet, avant même leur arrivée à Quito, lieu où l'on devait déterminer la base principale de la triangulation, l'hostilité de Godin envers Bouguer et La Condamine s'aggrave, laissant présager ce qui sera le ton habituel de leurs relations, confirme J. Seniergues, chirurgien de l'expédition, dans une lettre à Antoine Jussieu en mars 1736 :

« ..., demain nous devons toucher à la plaga pour voir si le terrain sera propre à mesurer une base. Monsieur Gaudin n'est pas de cet avis, il dit se rendre à Goujaquille et de là à Quito endroit route. Monsieur de La Condamine a déjà dit devant tout le monde que si personne ne voulait y rester, il resterait tout seul. S'il prend ce parti-là, Monsieur Bouguer restera sûrement avec lui. Monsieur Gaudin (et) eux ne se parlent point depuis un certain temps. Ils se mangent comme chien et chat et se gachent leurs observations de part et d'autre. Il n'est pas possible qu'ils puissent finir le voyage ensemble » (22).

La polémique sur le point de savoir si l'on devait commencer la triangulation par la mesure d'un arc parallèle ou d'un arc de méridien posa immédiatement d'autres problèmes au chef de l'expédition et dut finalement être résolue par décision du comte de Maurepas (23).

(20) On peut trouver une analyse des observations et conclusions chez J.-B.-J. Delambre (*Grandeur...*, p. 85-145) et chez G. Perrier (*La Figure de la Terre, Revue de géographie annuelle*, II, 1908, p. 201-508).

(21) Voir notre article : A. Lafuente, *Una ciencia para el Estado : la expedición geodésica hispano-francesa al virreinato del Perú (1734-1743)*, *Revista de Indias*, 43, 1983, p. 549-629, ainsi que J. Guillen Tato, *Los tenientes de navio Jorge Juan y Stantacilia y Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral y la medición del meridiano*, Madrid, 1973. Il sera également intéressant de lire le roman historique de F. Trystram, *Le procès des étoiles. Récit de la prestigieuse expédition de trois savants français en Amérique du Sud et des mésaventures qui s'ensuivirent (1736-1771)*, Paris, 1979.

(22) Panama, le 18 février 1736, Arch. Muséum d'Histoire Naturelle (Paris), Ms. 179.

(23) Le 15 février 1737, Bouguer écrivait au comte de Maurepas dans les termes suivants : « M. Godin est jusqu'à présent bien résolu de commencer par l'équateur (...) je ne puis pas manquer sur toutes ces considérations dont l'évidence me frappe d'employer toutes les voies raisonnables et même d'en mener aux protestations pour détourner M. Godin de la résolution où je le vois, et je suis sûr, Monseigneur, que vous me ferez l'honneur de m'approuver... ». L'extrait de cette lettre, ainsi que d'autres en rapport avec le même sujet, se trouve

On devait choisir la deuxième option, mais à ce moment-là l'équipe avait déjà épuisé le maigre budget accordé par le Secrétariat de la Marine et s'était heurtée aux autorités judiciaires de Quito, qui voulaient intenter un procès à La Condamine, accusé d'introduction illégale de marchandises en Amérique (24).

Les circonstances devaient bientôt s'aggraver. A la suite de la décision de Bouguer d'effectuer un nivellement géodésique des signaux, au lieu du nivellement barométrique prôné par Godin, ce dernier impose à l'expédition de se séparer en deux groupes, situation qui persista jusqu'en 1743 (25). A la suite des protestations de Bouguer et de La Condamine, Godin accepta en 1740 un échange réciproque d'observations qui permit de donner une cohérence interne aux observations réalisées et de sauver l'image de l'Académie face à la communauté scientifique européenne :

« A l'égard de la communication réciproque de nos observations — écrivait Godin en 1740 —, je pense avoir déjà eu l'honneur de vous dire que je ne désirais nullement ni avoir aucun besoin des vôtres : les miennes du Sud, si vous êtes ici, je vous les communiquerai, comme j'ai toujours eu dessein de le faire ; mais de telle manière que vous ne la pourrez pas comparer avec les vôtres. Mon intention est de les constater, même de les déposer, si cela se peut entre vos mains, non encore de les manifester » (26).

Il n'est pas nécessaire d'insister sur ce point que La Condamine reconnaîtra dans le titre même de sa *Mesure des trois premiers degrés du méridien dans l'hémisphère austral* (1751). Nous ne nous attarderons pas non plus sur les profondes divergences qui s'élevèrent entre

dans les « Extraits de quelques lettres et de quelques autres écrits déposés au Secrétariat de l'Académie royale des Sciences, le 5 mars 1750 », Arch. Observatoire de Paris, Ms. B-5-7. L'ordre de Maurepas de modifier les plans de Godin fut donné le 9 mars et fut reçu par Bouguer le 22 septembre 1737 ; voir P. Bouguer, *Justification des « Mémoires de l'Académie des Sciences » de 1744 et du livre de la « Figure de la Terre »*, Paris, 1754, p. 4-5 et 11-12.

(24) Etant donné la faiblesse des fonds dont disposait l'expédition française, La Condamine se déplaça à Lima au début de 1737 avec l'intention d'échanger des lettres de crédit d'un montant de 12 000 pesos qu'il avait apportées de Paris. A la suite de ce voyage, il fut accusé formellement de commercer illégalement ; les documents sur cette affaire se trouvent à l'Archivo General de Indias, Quito, 133, f. 599-623. Une présentation plus détaillée de ces difficultés est donnée par A. Lafuente, « Una ciencia... », note 21.

(25) Voir le mémoire très éclairant de P. Bouguer, apostillé par La Condamine et daté du 14 juillet 1737 du signal de Yassuay, intitulé « Protestations résolues et annoncées par Godin » (Arch. Museum d'Histoire Naturelle, Ms. 111, Dossier géodésique).

(26) Le texte provient d'une lettre de Godin à Bouguer datée de Quito, 13 octobre 1740, Arch. Académie des Sciences, Dossier L. Godin.

lui et Bouguer (27), ni sur les obstacles découlant des difficultés permanentes avec les autorités de Quito (28).

Le sujet de l'orographie du terrain, au contraire, aura besoin de quelques commentaires. La réalisation d'une triangulation entre les deux Cordillères andines était pénible, non seulement à cause de la détérioration des instruments ou des changements continuels dans l'emplacement des signaux prévu à l'origine, mais aussi à cause d'une situation qui, du point de vue scientifique, conduisait à des problèmes très mal connus à l'époque. Parmi ceux-ci, on peut citer la variation de la réfraction astronomique à de grandes altitudes, la déviation de la verticale causée par la présence de grandes montagnes, la dilatation résultant d'importants changements de température ou l'extraordinaire difficulté de toutes les opérations de nivellement. Toutes ces questions furent abordées dans le but d'isoler les différentes causes de la dispersion persistante des renseignements et des différentes sources d'erreur. De tels travaux suscitèrent de nombreuses recherches qui, cependant, et parfois de manière incompréhensible, ne permirent pas d'obtenir des résultats partiels précis. Le dérèglement des instruments n'eut pas moins d'importance que la construction ultérieure d'instruments nouveaux qui nécessitèrent des corrections continues (29).

On doit ici évoquer le problème du grand secteur astronomique de 12 pieds de rayon, dont la mise au point devait retarder les mesures de plus d'une année et qui, avant d'être perfectionné, leur fit interpréter la dispersion des résultats comme une conséquence d'un mouvement propre des étoiles. Cet épisode est d'autant plus remarquable qu'ils se proposaient de trouver une loi rendant compte d'une variation journalière dans la position de  $\epsilon$ -Orionis comprise entre

(27) Ce fait est attesté par la profusion de textes qu'ils consacrent à leurs mutuelles accusations. Delambre se décida à entrer dans le débat et à opter en faveur de La Condamine, voir *Grandeur...*, p. 130 sq.

(28) Il existe une abondante littérature sur cette question ; en plus des références citées note 21, on peut consulter la *Relation abrégée d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique méridionale* (Paris, 1745) de La Condamine, ainsi que A. Ulloa et J. Juan, *Relación histórica del Viaje a la América Meridional*, Madrid, 1748.

(29) La description du premier instrument à grand rayon dont le limbe était une partie aliquote du rayon, construit par Godin, se trouve dans une lettre de L. Godin adressée à l'Académie (Cuenca, 14 août 1739) et lue au cours de la séance du 27 janvier 1742 (*Procès-Verbaux*, 1742, p. 44 sq.). L'instrument construit par Bouguer et La Condamine est décrit par La Condamine (*Mesure des trois premiers degrés du méridien*, Paris, 1751, p. 110-2) et P. Bouguer (*La figure de la Terre*, Paris, 1749, p. 175 sq.).

40'' et 50'' (30). Comment une telle supposition fut-elle possible ? Au cas où son existence était confirmée, n'aurait-elle pas déjà été constatée ? Il nous faut répondre de nouveau à ces questions en nous rapportant au contexte de polémiques personnelles et de confrontation dans lequel se développaient leurs travaux.

Il est difficile d'expliquer autrement le fait que ce n'est qu'après sept années d'observations qu'ils décidèrent de les réaliser simultanément aux deux extrémités de la triangulation pour éviter l'incidence d'effets comme celui qui vient d'être décrit.

Divers problèmes concernant la parallaxe des fils du micromètre, le parallélisme entre l'axe de la lunette et le plan de l'instrument, son encastrement vertical, la division du limbe, l'observation diurne d'étoiles, etc., durent être résolus avant d'aborder la phase finale des opérations (31). En 1741, sous l'effet du découragement dû à leur retard et de l'inquiétude suscitée par l'incertitude de leurs observations, La Condamine écrivait à Bouguer :

« Je suis toujours tenté d'attribuer à mes erreurs la plus grande partie des erreurs » (32).

Ainsi, à la confiance en l'exactitude des mesures initiales succède le soupçon qu'elles ne pourront être décisives pour la détermination de l'aplatissement polaire. Mais, au-delà de leurs différends personnels, le moment était arrivé de terminer des travaux si pénibles et si longs. Craignant un jugement de réprobation envers leur conduite, les différents membres de l'expédition décideront alors d'échanger les déterminations de la valeur d'une minute d'arc, moment que nous considérons comme décisif dans le processus de maturation du programme de recherche qu'ils étaient en train de poursuivre (33). Ce qui, jusqu'à ce moment, avait le caractère d'une série dispersée

(30) Le témoignage évident qu'ils adoptèrent cette incroyable hypothèse peut être vérifié par la lettre de La Condamine à Maupertuis (Quito, 20 janvier 1741), lue au cours de la séance académique du 13 janvier 1742 (*Procès-Verbaux*, 1742, p. 2).

(31) Nous ne pouvons malheureusement pas nous occuper longuement dans cet article de cette multiplicité d'intérêts si variés. Voir à ce sujet l'ouvrage de A. Lafuente et A. J. Delgado, *La geometrización de la Tierra : observaciones y resultados de la expedición geodésica al virreinato del Perú (1734-1743)*, CSIC (Madrid), 1984.

(32) Lettre de La Condamine à Bouguer, Quito, 3 août 1741, Bibl. nationale, Paris, nouv. acq. fr., ms. 6197, f° 26 r. En réalité, les observations astronomiques, commencées à la fin de 1739, ne devinrent relativement précises qu'en septembre 1741 ; cf. La Condamine, *Mesure...*, p. 169.

(33) Cet échange de valeurs est discuté par Delambre (*Grandeur...*, p. 107 sq.). La documentation manuscrite se trouve aux Archives de l'Observatoire de Paris, ms. B-5-7.

d'observations plus ou moins précises doit alors se mettre au service de l'objectif poursuivi. Dans une telle situation, l'aspiration initiale à une exactitude presque totale s'estompe face à l'impossibilité d'intégrer toutes les erreurs déterminées et d'évaluer globalement chaque phase de l'expérience. Un étrange sentiment d'échec s'empare alors des membres de l'expédition qui remarquent, pour la première fois, l'insuffisance des ressources théoriques sur lesquelles reposait leur confiance lors de leur voyage vers Quito.

Mais essayons d'établir une conclusion plus quantitative. Pour ce faire, comme le firent les membres des diverses expéditions, nous comparerons la valeur du degré obtenu aux différentes latitudes et nous chercherons la valeur possible du rapport entre les axes de la planète. Ces degrés étaient les suivants (34) :

| Lieu     | Latitude | Observateur              | Longueur<br>du degré<br>(en toises<br>de Paris) | Degré<br>corrigé<br>suivant<br>Bosco-<br>vich | Diff.<br>réelle | Diff.<br>cal-<br>culée | Erreur |
|----------|----------|--------------------------|---|---|-----------------|------------------------|--------|
| Equateur | 0° 0'    | Bouguer-<br>La Condamine | 56 751,5  | 56 751  |                 |                        |        |
| Laponie  | 68° 19'  | Juan-Ulloa<br>Maupertuis | 56 767,8  | 57 422  | 671             |                        |        |
| France   | 49° 23'  | Cassini-<br>Maupertuis   | 57 438  | 57 074  | 323             | 461                    | 138    |

Comme on le voit, suivant Boscovich, on a considéré comme exacts les degrés polaire et équatorial, d'où l'écart calculé, de 461 toises, entre le degré de France et celui de l'équateur. Il en résultait une erreur de 138 toises par rapport à l'écart obtenu à partir des mesures corrigées suivant Boscovich (35). Avec ces valeurs et en comparant ces degrés deux à deux, le rapport entre les axes pouvait être fixé à :

|                    |         |
|--------------------|---------|
| Equateur - Laponie | 212/213 |
| Equateur - France  | 313/314 |
| France - Laponie   | 127/128 |

(34) Pour abrégier notre analyse, sans déformer les faits, nous avons suivi de près le traitement des renseignements adopté par R.-J. Boscovich (*Voyage astronomique et géographique dans l'Etat de l'Eglise*, Paris, 1770, p. 481 sq.).

(35) L'écart entre le degré de la France et celui de l'Equateur est en réalité de 330 toises, très voisin de celui de 323 toises issu des mesures. C'étaient surtout les mesures du degré de Laponie qui étaient défectueuses.

L'oscillation, comme on le voit, était importante et ne permettait pas de conclure définitivement au sujet de la figure de la Terre. La considération des résultats obtenus avec le pendule, méthode alternative pour déterminer la valeur de l'aplatissement polaire, conduisait également à une incertitude similaire. Nous suivrons également Bosovich dans cette brève analyse (36) :

| <i>Lieu</i> | <i>Année</i> | <i>Observateur</i> | <i>Latitude</i> | <i>Longueur du pendule (en lignes)</i> | <i>Longueur suivant Bosovich</i> | <i>Latitude</i> | <i>Diff. calculée</i> |
|-------------|--------------|--------------------|-----------------|--|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Quito       | 1736         | Bouguer            | 0° 25'          | 438,82                                 | 439,21                           | 0° 0'           |                       |
|             | 1736         | La Condamine       |                 | 438,84                                 |                                  |                 |                       |
|             | 1736         | Juan               |                 | 438,76                                 |                                  |                 |                       |
| Riojama     | 1737         | Bouguer            | 0° 9'           | 438,82                                 | 439,30                           | 9° 34'          | 0,09                  |
|             | 1737         | La Condamine       |                 | 438,93                                 |                                  |                 |                       |
| Portobelo   | 1736         | Godin              | 9° 33'          | 439,08                                 | 439,30                           | 9° 34'          | 0,09                  |
|             | 1736         | Bouguer            |                 | 439,08                                 |                                  |                 |                       |
| Paris       | 1672         | Richer             | 48° 50'         | 440,60                                 | 440,67                           | 48° 50'         | 1,46                  |
|             | 1682         | Varin              |                 | 440,56                                 |                                  |                 |                       |
|             | 1735         | Godin              |                 | 440,53                                 |                                  |                 |                       |
|             | 1735         | Mairan             |                 | 440,57                                 |                                  |                 |                       |
| Pello       | 1736         | Maupertuis         | 66° 48'         | 441,13                                 | 441,27                           | 66° 48'         | 2,06                  |

En supposant exact le résultat obtenu à l'équateur, la comparaison entre ces longueurs du pendule battant la seconde à différentes latitudes fournit pour la valeur de l'aplatissement terrestre les résultats suivants :

|                      |         |
|----------------------|---------|
| Equateur - Pello     | 179/180 |
| Equateur - Portobelo | 131/132 |
| Equateur - Paris     | 169/170 |

Ainsi, ni les circonstances dans lesquelles furent réalisés les travaux de l'expédition du Pérou, ni les conclusions obtenues dans d'autres expéditions n'écartèrent le sentiment d'échec que nous avons commenté précédemment en ce qui concerne la détermination numérique de l'aplatissement.

(36) On peut trouver le résumé des résultats dans J.-B.-J. Delambre, *Histoire de l'Astronomie...*, p. 362. De même que pour l'étude des degrés de méridien, nous avons simplifié notre analyse en suivant celle effectuée par Bosovich (*Voyage...*, p. 493-494).

LA RÉPONSE A L'INCERTITUDE DES RÉSULTATS

La dispersion des valeurs concernant l'aplatissement polaire de la Terre, se révélant plus grande que celle qui était prévue par l'hydrodynamique, pouvait entraîner des réponses différentes dans lesquelles on peut constater diverses conceptions au sujet des relations entre théorie et expérience ou entre physique et mathématiques. La Condamine affirmait avec raison que, malgré l'erreur que cela supposait dans ses propres observations et dans celles effectuées par Maupertuis (en aucun cas, assurait-il, plus de 40 toises au degré), la solution du problème de la figure de la Terre s'éloignait des possibilités de la science de l'époque :

« Mais quelle est la mesure de cet aplatissement, et dans quel rapport croissent les degrés de latitude en approchant les Pôles ? C'est ce que nous ignorons encore, et ce qu'il n'est peut-être pas possible de savoir ; au moins sans avoir un beaucoup plus grand nombre de degrés mesurés » (37).

Cependant, on ne pouvait prévoir qu'avec les ressources théoriques de l'époque une plus forte accumulation de résultats puisse conduire à plus de précision ou assurer une conclusion plus sûre. La comparaison qu'il effectuera lui-même entre les valeurs d'un degré obtenues par Cassini-La Caille entre Paris-Amiens, Juan-Ulloa à Quito, J. Cassini en France, Maupertuis en Laponie et celle corrigée entre Paris-Amiens, donnait pour l'aplatissement polaire une oscillation de valeurs excessive, comprise entre 1/132 et 1/303 (38). Quelle que fût l'analyse effectuée, les résultats ne permettaient pas d'aboutir à des conclusions définitives. L'astronomie semblait dépassée par le niveau de précision exigé.

Pour Euler, le problème résultait de l'insuffisance des méthodes propres d'observation et de la qualité des instruments. Si, depuis les premières étapes de la mécanique des fluides, discipline qui à son avis devrait arbitrer le litige, il était démontré que la différence entre les axes du géoïde était de 1/230, on pouvait alors quantifier l'erreur commise dans chacune des expéditions réalisées. Ce n'est qu'en accep-

(37) La Condamine, Extrait des opérations trigonométriques, et des observations astronomiques, faites pour la mesure des degrés du Méridien aux environs de l'Equateur, *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1746, p. 637.

(38) La Condamine, *ibid.*

tant le principe de la régularité de la figure de la planète qu'une telle manière de procéder se justifiait ; ainsi, si nous considérons comme régulière et homogène sa composition interne, les déviations expérimentales calculées par Euler auraient été les suivantes : le degré de Laponie était erroné de 27 toises, celui mesuré par La Caille en Afrique du Sud de 43, celui du Pérou de 15 seulement et celui de la France de 125 (39). La publication de ce mémoire provoque une nouvelle polémique car La Caille, qui avait eu la responsabilité effective de la dernière triangulation de la méridienne de Paris, refusait d'accepter une erreur aussi considérable dans ses observations. De même que dans la polémique intervenue en 1747-1748 entre Buffon et Clairaut au sujet d'une modification éventuelle de la loi de la gravitation universelle de Newton, cette discussion devait susciter d'intéressantes réflexions sur la simplicité et l'homogénéité du monde physique et sur la liaison mystérieuse entre théorie et expérience. L'attitude de P. Bouguer, peut-être le dernier cartésien de l'Académie, soutenait le point de vue inductiviste. Indépendamment de savoir si elle confirmait ou non les thèses de Newton, la comparaison des degrés révélait, à son avis, la complexité plus grande qui devait être attribuée à la figure de la Terre dont les méridiens, plutôt que des ellipses, devaient former une courbe qu'il nomma *barocentrique* ou *gravicentrique*. Les degrés d'une telle courbe ne variaient pas suivant le carré du sinus de la latitude, mais ils

« ... sont à peu près comme les sinus élevés à la puissance  $3^{10/11}$  : mais on peut sans doute en faveur de la facilité du calcul, et afin aussi de rendre géométrique la gravicentrique, de même que la ligne courbe que forme le méridien, confondre cette puissance fractionnaire avec la parfaite dont 4 est l'exposant » (40).

Nous pensons que la diversité des opinions révélées par ces différentes interprétations des résultats est très suggestive. Une thèse si peu favorable à l'acceptation de la valeur prédictive des théories et fondée sur un tel empirisme devait susciter bien des critiques. Bailly même se demandera quelques années plus tard si cette hypothèse de Bouguer (41) pouvait être considérée comme physique. Plus mo-

(39) Sur ce point, voir Delambre (*Histoire de l'Astronomie...*, p. 362) et Bos-covich (*Voyage...*, p. 484).

(40) P. Bouguer, *La figure de la Terre*, p. 290-291.

(41) J.-S. Bailly a écrit dans son *Histoire de l'Astronomie moderne* (3 vol., Paris, 1775-1782, t. III, p. 40) : « On pouvait demander à M. Bouguer si cette hypothèse était physique, c'est-à-dire si elle était conforme aux lois connues de la nature. »

destement, Juan tenta de déplacer la question vers les erreurs d'expérimentation :

« Pour cette raison quelques-uns veulent que la supposition faite ne soit pas exacte, sur le fait que la courbe, par la révolution de laquelle se produit le sphéroïde de la Terre est une ellipse ; et ils vont chercher une autre où conviennent tous les degrés mesurés. C'est M. Bouguer qui a donné la solution à ce problème, comme on le voit sur les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1736, page 443. Mais loin de croire, moi, que les disparités qui se trouvent aux excès des degrés procèdent de l'imposition faite que la courbe est une ellipse, je pense qu'elles ne naissent que de la courte erreur qu'on commet indispensablement sur les mesures des degrés » (42).

En effet, ce fut là le point de vue qui finit par s'imposer, une fois effectuées les nouvelles opérations géodésiques entreprises au Cap par La Caille et entre Rome et Rimini par Boscovich. L'objectif que, depuis 1734, s'étaient proposé ces expéditions était inaccessible : beaucoup de progrès techniques étaient nécessaires avant que l'astronomie ne puisse conclure sur une question proposée par la mécanique céleste et des fluides. Nos scientifiques le reconnaîtront.

#### L'AGONIE D'UN DÉBAT

Mais à notre avis, c'est ici que résida la grandeur de cet effort intense et prolongé pour résoudre une question scientifique. En plus d'amener quelques pays à participer au progrès de la science, comme ce fut le cas de l'Espagne et de la Suède, ou de revitaliser l'activité de quelques Etats italiens, il fut nécessaire de structurer toute une série de problèmes concrets autour d'un objectif moins ambitieux mais plus précis : la géométrisation de la planète. Voyons comment Voltaire, spectateur attentif de tout le débat, résume ses réussites :

« Mais la mission du Pérou — écrivait-il en 1745 —, par le vaste programme d'observations qu'elle eut le double mérite d'inaugurer et de réaliser est restée un modèle pour toutes les expéditions scientifiques qui sont venues après elle. En apparence, nos savants n'avaient ajouté à la science du ciel que quelques chiffres, mais la portée de leurs travaux fut réellement plus étendue, et l'impulsion qu'ils imprimèrent aux études d'observation plus durable qu'on le croit communément » (43).

(42) J. Juan, *Observaciones...*, p. 312.

(43) Ce texte provient d'une lettre de Voltaire (Versailles, 7 janvier 1745) citée par J. Loridan, *Voyage...*

On sait que, lors de cette expédition américaine, on fit, en plus des observations déjà commentées, beaucoup d'autres concernant la botanique, la géographie, la médecine, le génie rural et civil, la cartographie, l'anthropologie ou l'administration coloniale. Parmi celles-ci, on peut citer les herborisations effectuées par Jussieu, les descriptions minutieuses de l'arbre de quinquina réalisées par Jussieu et par La Condamine, l'introduction en Europe du caoutchouc, l'établissement de la carte de la province de Quito, la construction du chemin entre Quito et le Pacifique, suivant le cours du fleuve Esmeraldas, la description de l'Amazone, le rapport sur l'état des colonies effectué par Juan et Ulloa dans ses *Noticias secretas de America*, etc. Etant d'accord avec Voltaire sur le caractère de modèle que cette expédition aurait pour des entreprises postérieures du même genre, nous aimerions insister sur sa dimension strictement géodésique.

Conscients du degré de précision demandé à leurs travaux, nos académiciens arrivèrent à Quito prêts à tenir compte de l'influence de tout effet physique détectable sur la précision de leurs mesures. Convaincus qu'un tel projet était réalisable, imbus de cet optimisme naïf, ils affrontèrent une nature qu'ils considèrent au départ comme accessible à leur équipement technique. Cependant, cette nature ne se manifeste pas spontanément. Ils vérifient bientôt que leurs chiffres, comme disait Voltaire, ne peuvent atteindre un sens précis que lorsqu'ils sont intégrés dans le cadre d'un objectif concret. Ceci va leur permettre d'obtenir une conclusion à leurs travaux qui, cependant ne sera pas décisive au sujet de la figure de la Terre. Les difficultés étant hiérarchisées, chaque opération à réaliser structurée, il en résultait un nouveau mode d'appréhender la connaissance de la Terre, à mi-chemin entre la géographie et l'astronomie. Un plus grand nombre d'observations, beaucoup mieux effectuées, devait fournir quatre valeurs différentes pour le degré de méridien proche de l'équateur qui, cependant, laissaient planer une incertitude sur les conclusions définitives concernant l'objectif visé. Cette incertitude, qui fut évidente pendant les derniers mois de leur séjour en Amérique, obligea les membres de l'expédition à réorienter le sens de leurs travaux et à les repenser dans la perspective d'une sorte d'*expérimentation géodésique* qui, bien qu'insuffisante pour confirmer les prédictions effectuées à partir de la mécanique céleste, permettait cependant d'entreprendre la géométrisation de la planète. A la fin de leurs travaux, ils arrivèrent à saisir la fragilité naïve de leurs idées sur la prétendue neutralité des observations et vérifièrent l'impossibilité de

présenter des résultats qui n'assument préalablement des hypothèses sur la figure de la Terre et sur sa configuration interne. L'interprétation même des renseignements obtenus, particulièrement importants dans toute recherche géodésique, exigeait la mise en œuvre d'une analyse d'erreurs dans le contexte de valorisation globale de l'objectif visé.

De nouveaux degrés furent mesurés afin d'obtenir une plus grande exactitude empirique qui permettrait de réduire cette incertitude. Cependant, plus on avançait dans la connaissance des mesures des méridiens terrestres, objectif nettement géodésique, plus la possibilité d'obtenir une valeur précise pour le rapport entre les deux axes terrestres semblait s'éloigner. C'est ce que Boscovich reconnut après avoir comparé le degré italien à ceux mesurés en France, en Laponie, à Quito et au Cap :

« En général il n'y a rien de certain sur la figure de la Terre, si l'on ne fait attention qu'aux mesures des degrés ; mais si on leur ajoute les longueurs des pendules isochrones, que nous avons déjà par des observations assez exactes, nous pouvons conjecturer *fort vraisemblablement* que les irrégularités dans le tissu des parties sont plus grandes à la surface, et près de la surface, que dans les entrailles de la Terre » (44).

Nous n'insisterons pas sur les répercussions que cette conclusion devait avoir pour le développement d'un nouveau programme de recherches dans le domaine de la géophysique. La nécessité de fonder les futures enquêtes géodésiques sur des hypothèses tenant compte de la structure et de la composition interne de la planète conduisit La Condamine à écrire :

« Tout ceci ouvre un vaste champ aux spéculations les plus profondes, et offre le sujet d'un grand nombre de problèmes, sur lesquels nos plus grands géomètres se sont exercés. Trop à l'étroit dans l'enceinte du monde physique, ils aiment à prendre l'essor dans la sphère des possibilités : le réel et l'intelligible sont également soumis aux démonstrations mathématiques » (45).

Avant que ce programme ne fût prêt, avant que soient matérialisées les spéculations évoquées par La Condamine, avant que l'effort pour comprendre le réel à partir de l'intelligible ne s'étende à une partie nouvelle de la réalité, on avait prouvé une fois de plus les insuffisances de l'induction pure, de la simple accumulation empi-

(44) Boscovich, *Voyage...*, p. 493.

(45) La Condamine, *Mesure de trois...*, p. 263.

rique de résultats. On avait un peu avancé dans les inextricables mécanismes qui régissent la science. Le ton dissuasif de La Condamine ne cachait pas cependant pas une réalité que Boscovich dénoncera bientôt :

« Voici donc ce que je pense en général sur tout ceci. Je suis persuadé en premier lieu que l'entreprise formée de déterminer la grandeur et la figure de la Terre par la mesure des degrés, loin d'être finie est à peine commencée... Jusqu'à présent plus on a mesuré de degrés, plus la figure de la Terre est devenue incertaine » (46).

Du point de vue expérimental, le sujet de la figure de la Terre était épuisé, mais la polémique qui subsistait était due à l'obstination de quelques-uns et à la discussion de questions ponctuelles par d'autres. Dans sa lente agonie, le résultat le plus brillant qui restait était l'apparition de la géodésie comme une nouvelle discipline scientifique.

*Universidad Complutense, Madrid*

Antonio LAFUENTE,

*Instituto Arnau de Vilanova, Madrid*

José L. PESET.

(46) Boscovich, *Voyage...*, p. 493-494. Sur l'intérêt de Boscovich pour la géodésie et la figure de la Terre, on peut consulter Z. Markovic, *R.-J. Boskovic et la théorie de la Terre*, Conférences du Palais de la Découverte (5 sept. 1960), Paris, 1960.