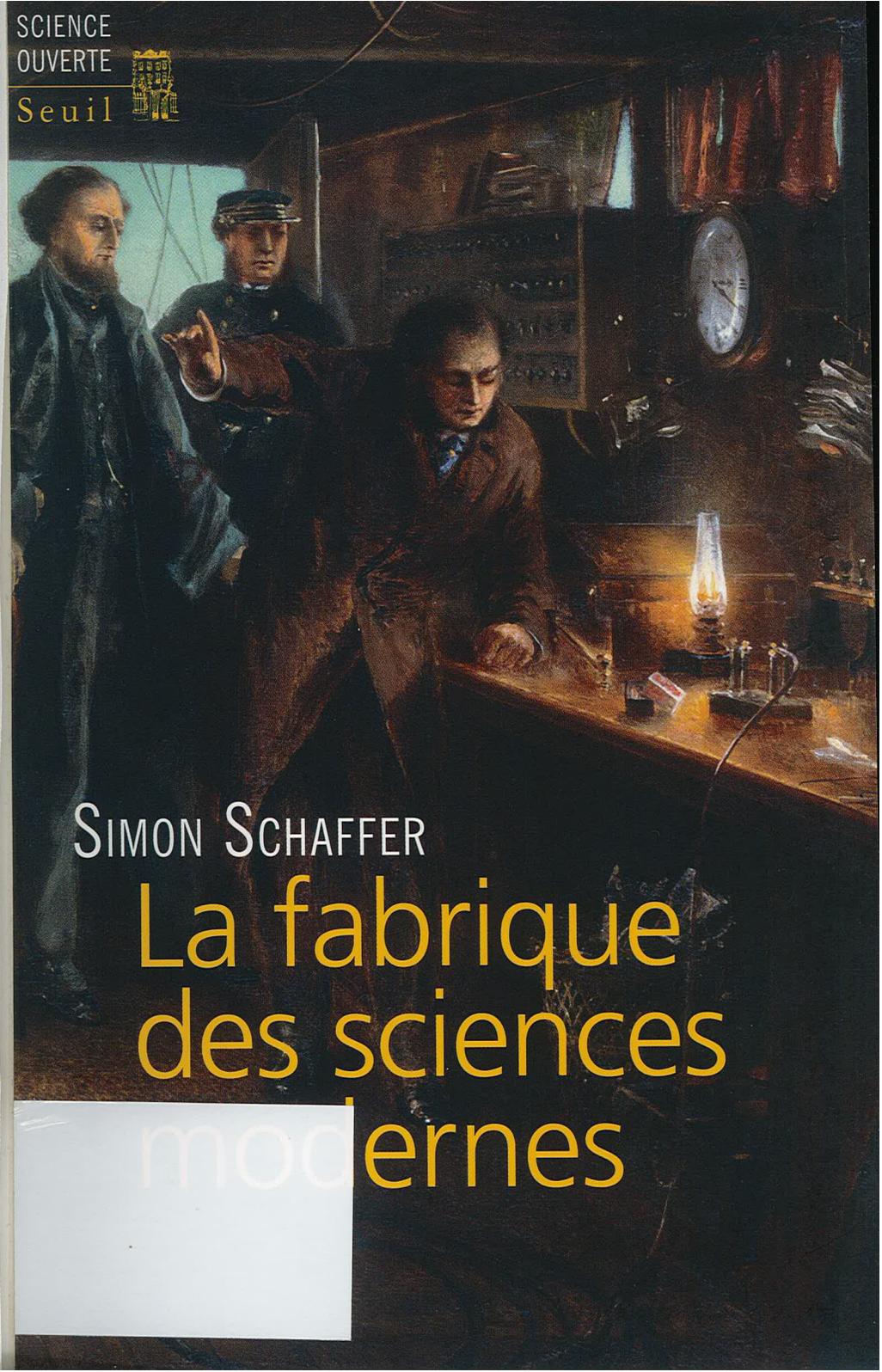


SCIENCE
OUVERTE



Seuil



SIMON SCHAFFER

La fabrique
des sciences
modernes

Newton à la plage : l'ordre de l'information dans les *Principia mathematica*

L'image que le monde peut avoir de moi

Je ne sais pas quelle image le monde peut avoir de moi mais, pour moi, il me semble que j'ai toujours été tel l'enfant jouant à la plage, m'amusant de temps à autre à trouver un galet plus lisse ou un coquillage plus joli qu'à l'ordinaire, alors que le grand océan inexploré de la vérité se trouvait étendu devant moi.

Cette formule est l'une des plus célèbres qu'Isaac Newton aurait prononcées en passant. Comme souvent pour ce genre de formules, son origine est obscure. La référence littéraire qu'elle comporte pourrait fort bien être issue d'un extrait de *Paradis retrouvé* (1671), le grand poème de John Milton sur la rédemption. Dialoguant avec Satan, le Christ y fait l'éloge de l'illumination divine aux dépens du savoir païen :

Celui qui lit [les livres]
sans cesse et sans apporter à cette lecture
un esprit et un jugement égal ou supérieur,
[...] celui-là reste toujours incertain et sans principes,
profondément versé dans la science des livres, mais d'un jugement
superficiel,
sans maturité ou plein de préjugés
recueillant des bagatelles et des niaiseries,
comme si c'étaient des pensées de choix, et qui ne valent rien de
plus qu'une éponge ;
il ressemble à ces enfants qui ramassent des cailloux sur le rivage¹.

Mais le lien immédiat entre cette formule et Newton est plus ambigu. On en trouve la toute première version trois ans après la mort de Newton, dans une conversation d'avril 1730 entre l'homme de lettres et adepte de la rumeur Joseph Spence, et Andrew Ramsay, jacobite, franc-maçon et précepteur à la cour. En évoquant la dette de Newton envers l'ancienne théologie et son étrange attitude à l'égard du dogme de la Trinité, Ramsay cita la formule de Newton, ajoutant qu'elle était « aussi importante » que les *Principia mathematica*². N'ayant pas pour habitude de renoncer à une belle épigramme, Ramsay intégra par la suite cette formule dans son *Projet d'éducation pour un jeune prince* (1732), composé pour servir de manuel d'instruction aux héritiers d'une famille d'aristocrates français. Mais, en recommandant sa propre version de la philosophie newtonienne, Ramsay en changea le sens :

Comme l'a affirmé Sir Isaac Newton, toutes les découvertes que les mortels peuvent faire sont semblables à celles d'un enfant au bord de la mer, recherchant des galets à fendre ou des coquillages à ouvrir, pour voir ce qui est en eux, alors qu'au-devant de lui se trouve un océan illimité, dont il n'a pas l'idée.

Cette expression renvoie à la doctrine paulinienne de la première Épître aux Corinthiens : « Car nous voyons, à présent, dans un miroir en énigme, mais alors ce sera face à face³. »

Désireux de rassembler les matériaux nécessaires à la rédaction de la biographie du grand homme, John Conduitt, le neveu loyal de Newton, colla consciencieusement dans ses cahiers la coupure d'un journal jacobite qui contenait cet extrait du *Projet d'éducation pour un jeune prince* de Ramsay⁴. La formule ne tarda pas à connaître une certaine fortune, à être de nouveau publiée ou évoquée par des auteurs tels Lord Byron dans *Don Juan* (1820-1821) et David Brewster dans *La Vie d'Isaac Newton* (1831). La métaphore de « l'océan de la vérité » a fait couler elle aussi beaucoup d'encre. Et on a consacré plus d'attention encore à la modestie apparente de l'expression inaugurale : « Je ne sais pas quelle image le monde peut avoir de moi. » Dans sa psychobiographie de Newton, Frank

Manuel a risqué cette interprétation : « Cette comparaison ingénue et désarmante peut aussi être un aveu de Newton⁵. »

Mais nos sujets de préoccupation dans cet essai sont tout autres. Newton ne s'est jamais rendu au bord de la mer ou de l'océan. Il n'a assisté à aucune marée, sauf sur les bords de la Tamise, et n'a pas utilisé la position de la Lune pour naviguer en pleine mer. Guère enclin à voyager, Newton a passé sa vie dans le Lincolnshire, à Cambridge, et à fréquenter quelques résidences, pubs et bureaux londoniens. On sait en toute certitude qu'il a navigué en la seule compagnie de Christian Huygens, pour se rendre à Hampton Court durant l'été 1689, afin d'obtenir du roi un poste dans un collège, et qu'il a effectué une série de voyages en bateau, sur la barge de la Monnaie royale, entre la tour de Londres et les escaliers de Whitehall, afin d'assister à Westminster à des expériences sur les pièces de monnaie. Autrefois comme aujourd'hui, il a donné au monde l'image d'un homme remarquablement immobile, incarnant par excellence à la fois la solitude spirituelle et celle du savant. L'un de ses admirateurs, l'archéologue du Lincolnshire William Stukeley, rappela qu'à Cambridge « nous le contemplions, jamais entièrement satisfait [...] comme une sorte d'être divin ». Stukeley affirme que l'accès à la notoriété publique tira Newton de « l'intimité chérie des murs du collège où [...] il avait écrit ses *Principia*, cette œuvre prodigieuse et immortelle ».

Dès le printemps 1688, lorsque le patient éditeur Edmond Halley rédigea ses premiers commentaires sur les *Principia*, les lecteurs apprirent que

cet auteur incomparable, ayant finalement accepté d'apparaître en public, a, dans son traité, donné l'un des exemples les plus remarquables de l'étendue des pouvoirs de l'esprit humain⁶.

Comme l'a montré Rob Iliffe, il y a un lien assez étroit entre l'image de solitude et d'autorité finement travaillée et le programme religieux et cosmologique dans lequel se lança Newton. Dans des commentaires stratégiques sur le statut du philosophe naturel vertueux, Newton déclara que les entreprises menées par les

savants consistaient à rendre public ce qui était tenu secret et que la corruption de l'État et de l'Église était préjudiciable à la quête de la vérité. Jan Golinski a signalé l'importance des travaux « nobles et secrets » de l'alchimie philosophique dans la carte du savoir newtonien. Dans son analyse de la relation entre les sites expérimentaux et la réaction « ambivalente ou hostile » de Newton à l'égard de ces lieux publics, Steven Shapin a évoqué l'exemple de Milton sur le « juste emplacement » de l'esprit, affirmant de manière convaincante que le « philosophe solitaire » doit « élaborer un monde qui fait totalement abstraction de sa situation corporelle ». Nulle part et partout, et, de fait, nulle part *donc* partout, cette solitude newtonienne autorisait une *imitatio Dei*⁷.

L'image sublime de Newton jouant au bord de la mer et son importance pour la postérité constituent un excellent stimulant pour nos réflexions sur l'information, la solitude et la géographie. Dans un chiasme habile, le personnage de l'homme collectant galets et coquillages à la plage situe les vérités divines dans le domaine du voyage sublime (l'« océan de la vérité ») et inscrit la curiosité de l'histoire naturelle dans une banale solitude (« un coquillage plus joli »). Récemment, les historiens-géographes se sont de nouveau penchés sur les territoires du savoir des Lumières et sur ce que l'on a appelé « l'espace matériel et social » du littoral. L'objectif de mon enquête consiste à explorer précisément cet espace pour rendre compte du savoir global de Newton⁸. Les images de la solitude et de l'immobilité du savant semblent assez déconcertantes, compte tenu du fait que le programme de Newton, débuté au milieu des années 1680 et approfondi au cours des trois décennies suivantes, embrassait à l'évidence d'immenses cosmologies et chronologies : mouvements des marées, longueurs des pendules, positions des comètes et des satellites, relations de missionnaires et de marins voyageant aux quatre coins du monde, etc. Le divin Newton pouvait décrire comment des corps interagissent instantanément et à distance parce que, semblait-il, il pouvait lui aussi agir instantanément et à distance, sans médiation.

Mais l'action immédiate et à distance n'est un principe plausible ni sur le plan historique, ni sur le plan sociologique. L'hypothèse

est ici d'utiliser la figure de la solitude newtonienne pour examiner l'émergence et le fonctionnement des systèmes d'information dans la philosophie naturelle du début de la période moderne. Les *Principia mathematica* sont le chef-d'œuvre d'un mathématicien du mouvement généralement perçu comme solitaire. L'image du « collecteur de galets et de coquillages » et de « l'océan de la vérité » a en effet contribué à cautionner une théorie étonnante selon laquelle ni le crédit ni la confiance ne pouvaient avoir leur place dans le triomphe de Newton ou dans toute science analytique pleinement achevée. Pourtant, les réseaux par lesquels les récits des témoins arrivaient jusqu'à Newton – et sur l'intégrité desquels reposait une grande partie de son travail – étaient d'une importance considérable pour ses travaux scientifiques. Les images opposées de la solitude claustrale et de l'océan coïncident ainsi parfaitement, en tant que composantes d'un système qui permettait à la solitude et au témoignage de fonctionner de concert⁹.

Les savoirs analysés dans cette étude de cas sont autant d'exemples éclairants de pratiques sociales institutionnalisées. S'il fut rédigé en partie afin de « remettre Newton à la plage », autrement dit à la place qui est la sienne, ce chapitre entend aussi rebondir sur les commentaires que Boris Hessen fit il y a près de trois quarts de siècle. Ayant eu le mérite de lancer le projet d'analyser le dernier livre des *Principia mathematica* à l'aune de sa relation avec le commerce et la navigation, Hessen écrivait : « Dans une œuvre traitant de philosophie naturelle, on ne peut s'attendre à trouver des références aux sources et aux matériaux l'ayant inspirée¹⁰. » Remettre le programme de Newton à sa juste place permettrait d'obtenir des informations très intéressantes sur ses sources d'inspiration et notamment sur l'ordre de l'information et les flux de savoirs à l'origine de son *opus magnum*.

Ordres de l'information et économies du « crédit »

Les systèmes de grande ampleur de collecte de faits et de biens sont des éléments essentiels de l'ordre de l'information du début

de la période moderne. Adaptant les récits prestigieux des expéditions et des conquêtes coloniales effectuées sous l'égide de la monarchie catholique, des œuvres telles que l'*Instauratio magna* de Francis Bacon associaient expéditions lointaines et progrès du savoir. Les sociétés par actions qui commerçaient avec les colonies du Nouveau Monde, ainsi que les grandes entreprises missionnaires de la Société de Jésus, par exemple, développèrent des réseaux commerciaux, mais aussi de stockage et de communication permettant la diffusion de nouveaux types de savoirs et de comportements. Dans les réseaux mis au point par les jésuites, figurent de nouvelles formes de « crédit » et de représentation s'appuyant sur des modèles institutionnalisés de confiance et de vigilance¹¹. Même si les relations entre Newton et les philosophes naturels ainsi que les historiens jésuites étaient notoirement tendues, ces hommes d'Église fournissaient, quoique malgré eux, des ressources indispensables aux travaux du savant de Cambridge. De manière importante pour notre argumentaire, les protagonistes étaient particulièrement au fait des modèles de voyage et de savoir développés par leurs travaux. Les voyages extatiques et célestes composés par des jésuites comme Athanasius Kircher dans son musée de Rome ou par Valentin Stansel dans son collège du Brésil étaient autant de façons d'imaginer le voyage et sa dimension spirituelle, comme si les « délégués » pouvaient sans encombre faire le tour d'un monde révélé par le nouvel ordre de l'information¹². De la même façon, dans sa brillante étude de ce qu'elle appelle les « cérémonies de l'information » de l'Ancien Régime, Michèle Fogel montre qu'à une période considérée comme l'aube de la société civile moderne, le contrôle de la production de l'information s'accompagnait de rituels complexes où le pouvoir de l'État était dramatisé et renforcé. L'analyse comparable effectuée par John Brewer sur les taxes créées dans le cadre du système fisco-militaire britannique montre le lien entre flux de l'information et mouvements de biens dans le régime de la période considérée. Larry Stewart a, pour sa part, souligné les liens étroits entre la philosophie naturelle de Newton et la révolution commerciale connue par la société anglaise à l'époque géorgienne; il a par ailleurs recherché ces

liens dans les réseaux de commerce fondés par l'Empire britannique aux quatre coins du monde. Ces historiens mettent en avant les dimensions spatiales, politiques et commerciales des ordres de l'information au début de la période moderne¹³.

Le terme d'« information » est ici utilisé pour décrire des faits plus largement partagés et moins explicitement discutés que des savoirs formalisés. Le terme d'« information » est le terme le plus communément accepté, le moins contesté et le moins contestable. Le terme de « savoir » est quant à lui plus mouvant; son statut est certainement plus sujet à caution. Comme le fait remarquer Christopher Bayly,

dans les sociétés du début de l'époque moderne, l'ordre de l'information était décentralisé; il était constitué de multiples communautés détentrices de savoir, qui se superposaient.

À l'intérieur de ces ordres, on trouvait des « médiateurs d'information », des hommes comme Henry Oldenburg et Hans Sloane. Comme le suggère Peter Burke, ces hommes œuvraient dans un ordre de l'information dénommé parfois « république des lettres » et constitué de commerces d'imprimés, d'investissements en Bourse, de productions livresques, de systèmes d'abonnements et d'encyclopédies¹⁴. Cette époque marqua les débuts du journal de philosophie naturelle et de la gazette. Les récits de merveilles et de prodiges associés à des événements de nature commerciale et politique, dont la crédibilité était un sujet de préoccupation pour les magistrats, les prêtres, les philosophes naturels et les marchands, étaient légion. Ces témoignages alimentèrent la production livresque et les débats dans les cafés¹⁵. En « étudiant » les récits de phénomènes exotiques et merveilleux, on débattait de critères d'évaluation souvent opposés quant aux possibilités du monde réel. L'ordre de l'information du début de la période moderne est caractérisé par ce que Brendan Dooley a appelé le « maquis de l'information » (*information underground*). Pour savoir ce qui pouvait se produire dans le monde, il importait de savoir à qui donner du crédit¹⁶.

Les récits de phénomènes marquants, de plus en plus attestés par des analyses quantitatives, étaient perçus comme étant le fruit d'observateurs munis d'outils et d'instruments ingénieux. Il n'était pas simple de convaincre un public éloigné de la plausibilité de ces récits et des mesures relevées, notamment lorsque survenaient un désaccord ou des divergences. Le savoir-faire impliqué dans le maniement des instruments était à même d'emporter l'adhésion. Ce savoir-faire était expérimenté dans le cadre d'un « système de crédit » (*i.e.* de confiance) où le voyage, le commerce et l'Empire étaient parties prenantes. Les bibliothèques, les cabinets et les musées, ainsi que les hôtels des monnaies et les salles d'expérimentations, étaient, par excellence, les institutions de cet ordre de l'information. Les principales pratiques expérimentales, notamment dans le domaine de la pharmacie et de l'alchimie, dépendaient et souvent débattaient de la provenance de relevés de mesures mais aussi de biens distribués aux quatre coins du globe, dont les qualités étaient associées aux caractéristiques précises des sites d'où ces denrées précieuses étaient expédiées¹⁷.

Pour montrer comment fonctionnait cet ordre de l'information, considérons l'exemple de la première lettre de Newton trouvée jusqu'ici. Le savant anglais l'a visiblement écrite de Cambridge, au printemps de l'année 1669, à son ami de Trinity College, Francis Aston. Dans cette lettre, Newton recopia les instructions d'un autre expert à propos des analyses que les grands voyageurs devaient effectuer sur les lois de la navigation, l'extraction minière, les horloges à pendules et la métallurgie. Il ajouta ensuite des notes tirées d'un célèbre traité d'alchimie écrit par Michael Maier ; il posa également des questions sur des transmutations et demanda des nouvelles d'un spécialiste de la chimie médicale (« Je crois savoir qu'il est habituellement vêtu en vert ») dont il cherchait à évaluer la célébrité à Amsterdam (« Veuillez savoir si son ingéniosité est d'un profit quelconque pour les Hollandais »). En fait, cet ingénieur chimiste avait fui les Provinces-Unies pour le Danemark, puis les prisons romaines de la papauté. Cela n'empêcha pas les journaux de faire un récit éloquent de ses faits et gestes qui arriva jusqu'aux oreilles d'éminents philosophes naturels de Londres, tel

Robert Boyle, reconnaissant ainsi le mérite d'autres prétendants à l'alchimie. L'alchimie constitue un bon exemple des relations entre solitude revendiquée et réseaux d'échange savamment entretenus puisque, sans chaîne d'approvisionnement aux quatre coins du monde, l'alchimiste ne pouvait avoir de matériaux à disposition. L'interprétation par les historiens de la lettre écrite par Newton à Aston est révélatrice. Westfall y voit un signe de « l'isolement » de Newton (compte tenu du fait qu'il s'agit de sa seule lettre personnelle au cours de la période). Manuel affirme que « Newton est resté isolé toute sa vie durant ». Quant à Hessen, il se sert de ce document pour montrer l'intérêt réel de Newton pour la collecte d'informations fiables sur des techniques éloignées¹⁸.

En suivant la trace de ces réseaux de commerce et de savoir, on pourrait plutôt suivre les suggestions d'historiens qui se sont penchés récemment sur ces phénomènes, comme Harold Cook et Steven Harris. Dans son analyse de l'entreprise marchande hollandaise et de l'histoire naturelle dans les Provinces-Unies, Cook fait remarquer à juste titre qu'une accumulation de biens et d'informations fiables pour la collectivité a constitué la marque distinctive du système économique hollandais et de son régime de savoir. Dans les bibliothèques, les jardins, les pharmacies ou les musées, l'investissement dans des inventaires, autrement dit l'invention de technologies de rangement, de classement et de stockage, déboucha sur des systèmes d'accumulation du savoir. Harris utilise les réseaux de savoir de la Compagnie néerlandaise des Indes orientales (VOC), ainsi que ceux des Habsbourg et des jésuites pour montrer que le voyage, l'expropriation et l'accumulation constituaient à la fois des modèles sociaux pour le système capitaliste du début de la période moderne, des réseaux d'information, ainsi que des fondements scientifiques pour ces institutions¹⁹. Les systèmes économiques des réseaux européens de commerce mondial garantissaient la portée de l'ordre de l'information, tandis que cet ordre était à son tour garant du pouvoir de ces systèmes. Cet ordre de l'information contribuait ainsi à créer un monde dans lequel les individus étaient jaugés, dans le cadre de « régimes de crédit et de confiance », aux côtés des contenus

de la Création. Au sein de ce monde, le savoir était accumulé en vue de l'approvisionnement du cabinet de curiosités et ce, pour corriger les effets du péché originel. Les raisons divines de la Création étaient censées garantir la possibilité d'une science de la nature créée.

À la fin du xvii^e siècle, il y a donc un lien entre l'ordre de l'information coloniale et le régime de savoir empirique, entre des formes d'épistémologie, de providentialisme et de domination. La préface du recueil *Expéditions et voyages* (1704) d'Awnsham et John Churchill, écrite peut-être par John Locke ou Edmond Halley, montre la pertinence de cette corrélation.

L'histoire naturelle et morale s'enrichit au gré de l'accroissement du nombre de plantes jamais étudiées auparavant, et de l'innombrable diversité des drogues et des épices. Les relations commerciales se sont grandement développées, et non de manière étriquée et insuffisante comme lorsque les Vénitiens approvisionnaient toute l'Europe. [...] L'empire de l'Europe s'étend maintenant aux confins de la Terre²⁰.

Le monde de la Restauration renforça l'économie des colonies et le système des plantations. La Compagnie royale d'Afrique, fondée en 1660 puis réformée en 1672, qui s'appuya sur la traite négrière, fut décrite par l'éloquent historien Thomas Sprat comme la « sœur jumelle » de la Royal Society²¹. Les dirigeants de la Royal Society, comme son trésorier Abraham Hill, son président le comte de Carbery et son principal mécène au xviii^e siècle le duc de Chandos, furent également les principaux artisans du commerce triangulaire. Succédant à Newton en qualité de président de la Royal Society, le naturaliste, voyageur et célèbre médecin Hans Sloane fit fortune et développa son capital social grâce à ses plantations dans les Caraïbes. Il fut nommé par Chandos dans les années 1720 pour servir de relais de l'ordre de l'information, garant du système des plantations, et mena des expériences sur des spécimens de plantes comme le quinquina et le baumier, ainsi que sur des plantes tinctoriales²².

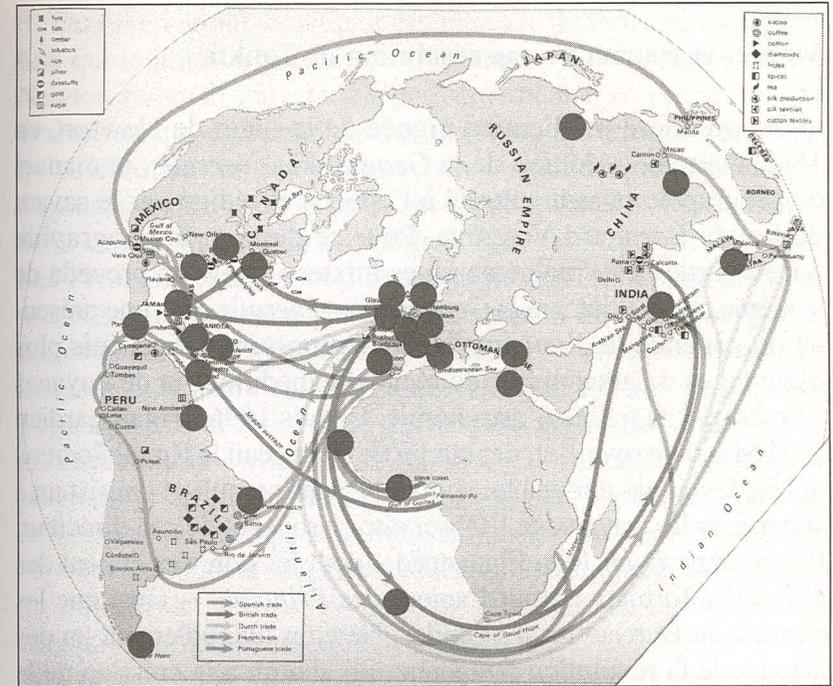
Des systèmes d'information remarquables, comme ceux mis au point par la Société de Jésus, la VOC et la Compagnie royale d'Afrique et, à Londres, par Oldenburg et Sloane, encouragèrent les expérimentations menées sur des objets mais aussi sur des personnes. Cette accumulation des connaissances reposait explicitement sur le crédit et la crédibilité, qui pouvaient toujours faire défaut. Newton, Sloane et Locke ne le savaient que trop bien²³. Les critères permettant de jauger la plausibilité des témoignages revêtaient une importance toute particulière. Comment établir des distinctions, par exemple, entre les témoignages sur la vie en Asie orientale qui parvenaient jusqu'à Londres, au début du xviii^e siècle, par les sources jésuites et commerciales – que ce soient les histoires d'Engelbert Kaempfer sur le Japon, imprimées par Hans Sloane, ou les aventures de Lemuel Gulliver dans les mêmes contrées, imprimées à la même époque par l'éditeur du *Voyage* de Sloane et des *Principia mathematica* de Newton²⁴? Il y eut également le cas contemporain de ce jeune Français répondant au nom de George Psalmanazar qui, en 1704, se fit passer en Angleterre pour un habitant de l'île Formose fuyant ses maîtres jésuites et qui publia une histoire naturelle et civile de son île, puis enseigna sa langue (inventée) à Christ Church (Oxford), avant de devenir suspect et de révéler finalement son imposture. Le président de la Royal Society, Isaac Newton, convoqua le prétendu habitant de l'île Formose pour l'interroger. Ce dernier utilisa les conventions de l'ordre de l'information – la probabilité, la conjecture et l'expérimentation – pour rendre son histoire crédible. Sloane mena une enquête. Il dépêcha à Avignon Jean Fontaney, un vétéran de la mission jésuite en Chine, pour vérifier les dires de Psalmanazar, qui se révélèrent totalement infondés. L'astronome royal John Flamsteed envoya le livre de Psalmanazar (ainsi qu'un beau quadrant et un exemplaire de l'*Optique*, le dernier ouvrage de Newton) à son collègue James Pound, qui était alors employé par la Compagnie anglaise des Indes orientales dans un comptoir de la mer de la Chine du Sud. Pound confirma qu'il ne fallait pas prêter foi aux propos de Psalmanazar²⁵. Devant choisir entre des témoins jésuites et des témoins anticatholiques, d'autres firent

cependant confiance à Psalmanazar. Les récits d'actes anthropophages perpétrés par les catholiques à Formose concordent parfaitement avec les horreurs de l'eucharistie dénoncées par les protestants ainsi qu'avec les plaisanteries terriblement plausibles de Swift sur les pratiques cannibales anglo-irlandaises²⁶.

Cet exercice pervers de la manipulation de la confiance, du « crédit », renvoie à l'énigme historiographique touchant la relation entre « régimes de curiosité » et philosophie naturelle. L'historien Krzysztof Pomian a interprété cette curiosité comme un état intermédiaire entre la théologie (médiévale) et les sciences (des Lumières). Les historiens de la Royal Society ont souvent considéré la succession, en 1727, de Sloane à Newton à la tête de cette institution comme un moment où l'énergie de la physique mathématique a été dévoyée en simple collecte de *naturalia*. Au XVIII^e siècle, les amoureux du savoir et les satiristes, abondamment évoqués par Margaret Espinasse dans sa présentation du « déclin et de la chute de la science de la Restauration », jugèrent le changement tout aussi brutal : l'étude *sub specie aeternitatis* des astres et des planètes était désormais remplacée par une vulgaire chasse aux papillons ! Les débats publics acharnés de l'époque contribuèrent à créer une véritable frontière entre l'histoire naturelle, fondée sur la curiosité, et la philosophie naturelle mathématique, avec les *Principia mathematica* pour ouvrage de référence. La dédicace polémique placée en 1727 au début des *Philosophical Transactions*, par celui qui était alors son éditeur, le médecin James Jurin, formé à Cambridge, rendait hommage à la « Gloire de Sir Isaac Newton » et déclarait que

ce grand homme savait que pour former un philosophe [naturel], fût-il de bas rang, il ne fallait pas se contenter de faire apprendre à ce dernier le nom, la forme, et les qualités évidentes d'un insecte, d'une pierre, d'une plante ou d'un coquillage mais bien plus encore.

Cette dédicace est à mettre en perspective avec l'image que Newton laissait à la postérité dans les années 1730 et dans laquelle l'enfant s'amusant à « trouver un galet plus lisse ou un coquillage plus joli » laisse « l'océan de la vérité inexploré²⁷ ».



1. Les sources d'information pour les *Principia mathematica*

Cette carte localise les sources des informations utilisées dans les *Principia mathematica* et les relie aux réseaux de commerce des Empires européens de l'époque.

Pour jauger la force et l'impact de la séparation proclamée entre mathématiques expérimentales et histoire naturelle, il importe de comprendre que les *Principia* associaient calcul (mathématique) et curiosité (naturelle). Il convient de réévaluer la relation entre histoire naturelle savante et philosophie naturelle, dont les *Principia* présentaient les principes mathématiques. Par exemple, l'opposition apparente entre les *Principia* et certaines œuvres contemporaines de curiosité savante, publiées également sous les auspices de la Royal Society (comme le *Musaeum Societatis Regalis*, 1681, de Nehemiah Grew, dont Newton donna un exemplaire à son propre collège), peut sembler moins nette. On a ici besoin d'avoir une meilleure carte de l'ordre de l'information des régimes de savoir du début de la période moderne²⁸.

Marées et courants : une résolution de Tonkin

La première publication signée de la main de Newton, en 1672, était une réédition de la *Geographia generalis*, le manuel de géographie faisant autorité à l'époque et rédigé par le savant de Leyde Bernhard Varenius. Pour ce dernier, la géographie faisait partie des « mathématiques mixtes ». Newton procéda de la même façon et intégra la *Geographia generalis* dans une présentation générale de l'univers²⁹. Newton possédait deux fois plus d'ouvrages de géographie, de récits d'expéditions et de voyages en mer que de traités d'astronomie. Depuis 1696, il était gardien de la Monnaie royale et, depuis 1703, il dirigeait la Royal Society, qui ne devait pas tarder à lui confier la tâche complexe consistant à superviser les travaux de l'Observatoire royal et de son directeur, l'astronome royal John Flamsteed – dont les données étaient des mines d'information pour l'auteur des *Principia* –, ainsi que les travaux du Bureau des longitudes. Newton fut également un des acteurs de la révolution financière qui aboutit à la création de la Banque d'Angleterre en 1695, la mise en circulation en 1696 de nouvelles pièces de monnaie en réponse à la contrefaçon monétaire, l'apparition du billet de banque, ainsi que l'essor de la Bourse de Londres. Newton était l'un des rares propriétaires de la Compagnie anglaise des Indes orientales à posséder plus de 10 000 livres en actions et à investir des sommes considérables dans la célèbre Compagnie des mers du Sud, créée en 1711 pour nouer des relations commerciales avec les colonies espagnoles d'Amérique du Sud. Ces systèmes financiers n'étaient qu'un volet de l'accord du nouveau régime anglo-hollandais né après la Glorieuse Révolution de 1688. Ce régime s'appuyait sur des valeurs stables : capitaux et réseau impérial dans l'Atlantique. Comme nous l'ont appris d'autres études portant sur les flux de l'information au début de la période moderne, ces valeurs présentaient des avantages : communications étroites et rapides, gestion technique de la distance, de l'isolement et de la retraite³⁰. Ce sont de tels principes qui régirent aussi l'ordre de l'information des *Principia mathematica*.

Expert en droit monarchique et membre du Parlement Convention qui légitima le régime de Guillaume III d'Orange en 1689, Newton associait souvent bon gouvernement et savoir de création divine, tel qu'interprété par les philosophes naturels. Ce n'est qu'au début des années 1680 que Newton fit quelques découvertes majeures et qu'il mit au point ses techniques dans les domaines de la chronologie, de la cosmologie et des mécanismes célestes. Les *Principia* furent tout d'abord écrits dans les douze mois qui précédèrent l'automne 1685. Il est frappant de constater que les dernières sections étaient à l'origine censées « démontrer le cadre du système du monde » et « composé[es] [...] en suivant une méthode populaire afin d'être lu[es] par le plus grand nombre ». Cette présentation du « système du monde » était initialement conçue pour rendre volontairement les *Principia* plus populaires. Contrairement aux précédents matériaux sur les lois du mouvement dont Newton redoutait la sécheresse et l'aridité, le dernier livre exigeait de « mettre à l'essai », de manière détaillée, des informations émanant d'un grand nombre de protagonistes³¹. Ces références et expériences intéressèrent le premier éditeur de Newton, Edmond Halley. Astronome et explorateur ayant passé son temps à sillonner l'Atlantique, ce dernier finança la publication des *Philosophical Transactions*, tout comme il finança celle des *Principia*. Au cours de ces années, les publications de Halley furent considérables : il cartographia des phénomènes répandus aux quatre coins de la planète, comme les marées, les variations de compas, les alizés et les moussons, corrigeant les erreurs de Varenius

après avoir eu la possibilité de converser avec des navigateurs connaissant toutes les régions de l'Inde et après avoir passé un temps considérable entre les tropiques.

Il exploita les réseaux d'information des sociétés de commerce colonial et ceux des experts des chantiers navals, comme les réseaux utilisés par son ami John Seller dans son *Pilote oriental*. Il dut parfois retarder la publication de ses ouvrages « en raison de l'absence d'une personne experte en la matière, et dont

l'information était considérée comme nécessaire ». Rompu dans la publication de ces récits et comptes rendus, Halley confia à Newton, au mois de juin 1686, que

c'est l'application de cette partie mathématique au système du monde qui rendra ce dernier acceptable aux yeux de tous les naturalistes ainsi qu'aux mathématiciens, et qui permettra de bien vendre le livre³².

Après avoir un temps envisagé d'omettre tout ce matériau, en partie en raison de sa colère due aux positions adverses de Robert Hooke, Newton ne tarda pas à l'utiliser pour le dernier livre des *Principia*. À partir des premiers brouillons de son travail sur les trajectoires des planètes rédigés en 1684, Newton commença à envisager quelle était la meilleure façon de réduire « un très grand nombre d'observations, peu importe combien », à « une seule conclusion », en adoptant un « point moyen » permettant d'indiquer le foyer d'une orbite elliptique. Pondérer les observations par la précision et « mettre à l'essai » la plausibilité relative de positions estimées pouvait être un procédé fiable, susceptible de trouver ce « point moyen ». Dans le projet des *Principia*, Newton et ses collaborateurs élaborèrent souvent des valeurs moyennes sur la base d'estimations divergentes de phénomènes célestes et terrestres³³. Ils étaient confrontés à une véritable masse d'informations et devaient tirer parti de données très largement distribuées et accumulées par astronomes, prêtres, académiciens et marins. Lors d'une controverse sur le meilleur équilibre à atteindre entre « un très grand nombre d'observations » et quelques informations fiables, Robert Hooke avait déjà évoqué, dans ses conférences londoniennes sur les comètes, le problème de la hiérarchisation de l'information auquel Newton devait lui aussi faire face :

À l'exception des observations exactes de quelques rares hommes véritablement diligents et précis, plus les collectes d'observations sont nombreuses, plus la tâche de l'examineur sera complexe et difficile ; non seulement ces informations se confondent

l'une l'autre, mais elles compliquent également celles qui sont réelles et parfaites.

Le problème consistait donc à jauger la précision diligente d'observateurs triés sur le volet en comparant leurs résultats avec de très grandes collectes de données, notamment quand tel programme nécessitait une exactitude extrême et utilisait des ressources réparties dans le temps et dans l'espace³⁴.

Le frappant argument providentialiste de Newton, publié dans un corollaire situé au début du dernier livre des *Principia*, montre de manière emblématique comment le savant de Cambridge traitait cette masse de données. Ce corollaire indiquait que

Dieu a placé les planètes à des distances différentes du Soleil pour que chacune d'elles, selon le degré de sa densité, puisse bénéficier d'une quantité plus ou moins grande de chaleur en provenance du Soleil³⁵.

Cette assertion reposait sur « une analogie observée entre les forces et les corps des planètes » et dépendait donc d'une bonne estimation de la taille des planètes. Dans la première version de ce corollaire, achevé dès l'automne 1685, Newton indiquait les chiffres du rayon de Saturne, à partir de mesures de la planète et de son anneau, effectuées successivement par Hooke, Halley, Huygens et le prêtre d'Avignon Jean-Charles Gallet. Au début de l'année 1685, le savant de Cambridge avouait à Flamsteed :

Je suis encore perplexe concernant Saturne. Cela fait des années que je ne me suis pas préoccupé d'astronomie depuis cette occasion, qui m'incite à chercher davantage.

L'astronome royal remit à Newton les données de Hooke, Halley, Huygens et Gallet, ainsi que ses propres mesures. Newton proposa de publier toutes ces valeurs différentes, puis adopta, pour le diamètre de Saturne, le ratio moyen (*ratio mediocris*) de ces valeurs, soit 21 secondes. Mais il ne s'arrêta pas là. En analysant les

observations effectuées par Huygens, Gallet, Halley et l'astronome de Dantzig, Johannes Hevelius, il fut à même d'affirmer habilement qu'une réfrangibilité inégale augmentait la taille apparente des planètes ; il jugea donc raisonnable de réduire le véritable rayon de Saturne de 11 secondes à 9 secondes. L'éditeur moderne de Newton, I. Bernard Cohen, voit dans cette démarche « une pure absurdité ». Même David Gregory, le mathématicien écossais disciple de Newton, remet en question la stratégie adoptée par son maître. Mais ce chiffre, inférieur aux mesures faites auparavant du rayon de Saturne, contribua à cautionner les théories sur la relation existant entre la force et la taille des planètes et donc les théories sur la présence de la sagesse divine dans le système solaire. Tous ces éléments furent intégrés dans la première édition des *Principia* (1687) puis abrégés dans les éditions ultérieures. La justification de cette disposition n'était plus expliquée, ni la moyenne scrupuleuse des mesures de Saturne par les observateurs. Dans de nombreuses sections de son *opus magnum*, Newton et ses collaborateurs ne ménagèrent pas leurs efforts pour tester et ajuster de telles interprétations de travaux effectués par de nombreux autres observateurs³⁶.

Comparons ces échanges avec ceux, plus tendus, que Newton entretint par la suite (en 1694-1695) avec le pieux et minutieux John Flamsteed. Newton et ses alliés voulaient que l'étude de la Lune prenne enfin en compte l'analyse du rôle de la gravitation. Ils savaient que la théorie gravitationnelle aurait des retombées importantes dans le domaine de la navigation astronomique. Newton et Gregory se rendirent à Greenwich afin d'obtenir de l'astronome royal des données fiables sur la Lune. Au cours des huit mois suivants, Flamsteed fournit au bas mot cinquante observations sur la Lune.

Tout le monde sait que je ne fais pas d'observations moi-même, déclara Newton à Flamsteed, et en conséquence je dois remercier leur auteur : car si je ne fais pas un remerciement en bonne et due forme, on me traitera de bouffon ingrat.

Newton affirma que les données de la théorie de l'attraction lunaire définie dans les *Principia* feraient de Flamsteed « l'observateur le plus exact qui existe jusqu'à présent dans le monde ». Mais la frontière séparant la théorie de la collecte de données était floue. Flamsteed ne fournissait pas, en effet, d'observations brutes mais des observations corrigées, pour des paramètres tels que la réfraction, la parallaxe et le mouvement apparent du Soleil. Comme Buchwald l'a fait remarquer, des astronomes tels que Flamsteed adoptèrent « une philosophie de perfection artisanale », en produisant des comptes rendus soi-disant minutieux, mais sans véritable débat sur la sélection des données. En l'espace de quelques mois, les relations entre Greenwich et Cambridge se durcirent. « Je ne veux pas de vos calculs mais de vos seules observations », telle fut la remarque cinglante que Newton adressa à Flamsteed, avant que la rupture de leurs relations ne soit consommée³⁷. C'était la fin de la théorie lunaire. Les prévisions de Newton concernant la progression des lignes des apsides atteignaient à peine une progression de dix minutes d'arc. Newton ne conçut jamais rien d'autre qu'une description cinétique du mouvement orbital de la Lune, modèle qui ne montrait certainement pas le rôle de la gravitation dans le mouvement lunaire. « Sans données adéquates, écrit l'historien Curtis Wilson, les difficultés se révélèrent trop importantes. » En 1713, Newton supprima deux références à Flamsteed qui étaient présentes dans la première édition de 1687³⁸. Il était difficile de trouver la juste mesure entre calcul et observation, autorité et gratitude. Alors qu'ils cherchaient à rendre « exact » le troisième livre des *Principia*, Newton et ses collaborateurs furent confrontés à des difficultés semblables avec les données sur lesquelles ils travaillaient.

Dans les *Principia*, l'analyse du mouvement de la Lune était présentée aux côtés du modèle newtonien des marées. On sait désormais que l'estimation faite par Newton du ratio des forces solaires et lunaires sur le mouvement des marées est deux fois trop grande. Même s'il reconnut que les forces gravitationnelles du Soleil et de la Lune étaient inversement proportionnelles au cube de la distance les séparant de la Terre, il commit l'erreur d'affirmer

que les marées sont exclusivement déterminées par la composante verticale des forces perturbatrices, tout comme il commit l'erreur d'estimer que les forces de marées dues à l'action du Soleil sont toutes parallèles à la surface de la Terre³⁹. Il s'agissait toutefois de la première tentative de proposer un calcul numérique des mouvements de marée. Dans les années 1680, Newton décrivit des phénomènes de flux et de reflux aussi célèbres qu'étonnants dans les Indes orientales, le détroit de Magellan et le Pacifique. Désireux de montrer que son modèle de l'attraction lunaire s'appliquait aux quatre coins du monde, le savant de Cambridge fut amené à émettre parfois des doutes quant à la fiabilité des témoignages des explorateurs.

La marée se propage à travers l'océan à une vitesse plus lente qu'elle ne devrait, compte tenu de la trajectoire de la Lune, expliquait-il en 1685, et il est probable que l'océan Pacifique soit régi par les mêmes lois.

Newton disposait de comptes rendus fiables en provenance des côtes du Pérou et du Chili, « mais je n'ai pas encore appris à quelle vitesse la marée se propage ensuite vers les côtes orientales du Japon⁴⁰ ». Estimer des chiffres impliquait d'utiliser l'ordre mondial de l'information afin d'accumuler des témoignages. C'est la gestion de ces chiffres qui attira le plus l'attention, lorsque Roger Cotes, le brillant mathématicien de Cambridge, devenu expert dans les méthodes de gestion des erreurs d'observation puis directeur d'observatoire, contribua à réviser l'ensemble des *Principia* entre 1709 et 1713. Confrontés à des théories cosmologiques rivales, notamment au programme leibnizien, Newton et Cotes cherchaient désormais activement à renforcer la précision apparente de leurs calculs et leur pertinence aux quatre coins de la Terre. Ils débattirent notamment pour savoir s'il convenait d'omettre ou d'inclure des données spécifiques sur les marées, à partir des comptes rendus plus ou moins fiables de marins de Plymouth et de Bristol, aux côtés de leurs hypothèses sur des paramètres tels que la densité de la Terre⁴¹.

L'observation des marées revêtait depuis longtemps une importance fondamentale dans l'ordre de l'information de l'Atlantique. Robert Moray, voyageur écossais et membre éminent de la Royal Society (FRS), avait déjà encouragé les nouveaux programmes de collecte de données lancés par le jésuite Athanasius Kircher dans les années 1650 et avait effectué en 1665 des comptes rendus des mouvements de marée remarquables qui se produisaient non loin de ses domaines, dans les Hébrides. Le jeune Newton prit scrupuleusement en note les comptes rendus de Moray puis les confronta avec ce qu'il connaissait du fonctionnement des marégraphes disposés sur le Danube⁴². Dans ses *Directives pour les marins* (1666), la Royal Society exigeait que des mesures des mouvements de marée soient prises jusqu'en Nouvelle-Angleterre, Sainte-Hélène et aux Bermudes⁴³. La même année, en réponse à un modèle philosophique complexe dû au mathématicien John Wallis et expliquant les mouvements de marée dans la Manche, Moray proposa la création d'un observatoire consacré exclusivement à l'observation des marées, en utilisant les instruments mis au point par Richard Shortgrave, le fabricant d'appareils de la Royal Society, et répartis le long de la Tamise ainsi que sur les côtes de la Manche. Dans les années 1660, Newton lut ces comptes rendus et formula des critiques de la théorie des marées mise au point par Wallis, remarquant que « les astronomes sont particulièrement intrigués par les irrégularités de la Lune⁴⁴ ». Comme l'a montré Steven Shapin dans sa présentation de l'économie du « crédit » dans l'Angleterre de la Restauration, l'évaluation de l'expertise locale fonctionna à merveille. Wallis rapporta ses conversations avec « certains habitants de Romney Marsh », dont il finit par accepter le témoignage, parce que leurs activités professionnelles étaient profondément tributaires des inondations dues aux mouvements de la marée⁴⁵. L'astrologue baconien Joseph Childrey mit lui aussi à contribution les riverains de la Tamise et leurs expériences des inondations des berges. Le programme d'observatoire de Moray aurait fait appel aux témoignages de « tout homme vivant de la mer ou de toute autre personne connaissant la mer⁴⁶ ». Lorsque Samuel Colepresse,

l'observateur de Plymouth, commença à mener ses propres études sur les marées, il découvrit en premier lieu que « l'humour renfrogné et les points de vue irréconciliables des marins » contrariaient ses plans d'études. Samuel Sturmy, marin de Bristol et auteur de récits de voyages en mer, rapporta à la fin de l'année 1668 des données sur les horaires et les amplitudes des marées, évoquant des chiffres « voisins de 45 pieds ». Sturmy jugea qu'« il n'est ni facile, ni possible matériellement, ni utile, d'obtenir des chiffres de l'ordre du demi-pouce⁴⁷ ».

Les données collectées par Colepresse et Sturmy jouèrent un rôle fondamental dans le troisième livre des *Principia*. Pour calculer la précession des équinoxes, Newton avait besoin de connaître la proportion des forces d'attraction respectives de la Lune et du Soleil. Il pouvait en principe déduire ce ratio à partir des amplitudes des marées de vives-eaux qui, pensait-il, étaient dues à la somme des forces aux syzygies, et à partir des marées de mortes-eaux, dues à la différence de ces forces aux quadratures. Dans ces cas-là, c'est la fiabilité ou la crédibilité des informateurs locaux qui revêtaient une importance particulière. Lorsqu'il envoya ses tables de marées de Greenwich à Cambridge, Flamsteed les assortit de la remarque suivante :

Eu égard au nombre de bateaux qui naviguent sur la Tamise et compte tenu du fait que ce fleuve est, depuis longtemps, la principale place de commerce dans cette partie du monde, on pourrait être enclin à penser que les comptes rendus effectués par nos marins des marées de ce fleuve seraient très exacts et que leurs témoignages seraient très rationnels. [...] Mais, à la vérité, rien n'est plus erroné ni plus oiseux.

Dans les années 1680, Flamsteed et Newton débattirent pour savoir si le modèle causal de la seule force de la Lune sur le mouvement des marées était plausible, alors que, de son côté, Halley nourrissait de forts doutes sur les données collectées par Flamsteed. S'opposant aux dires de Halley, qui affirmait que les tables de marées de Flamsteed étaient inopérantes en mer du Nord,

l'astronome royal faisait appel à « l'autorité de nos capitaines des mers », tout en reconnaissant que les témoignages de Halley « concordent parfaitement avec ce que disent presque tous les hommes vivant de la mer ».

Dans ces théories contradictoires sur le mouvement des marées, c'est le statut des informateurs qui jouait un rôle capital⁴⁸. Lorsque, en 1687, Halley offrit un exemplaire des *Principia* au monarque et ancien commandant de la Marine royale Jacques II Stuart, la portée mondiale de la théorie des marées occupa une place de choix :

La présence de ces étranges marées est naturellement déduite de ces principes et constitue un argument considérable qui prouve la certitude de l'ensemble de la théorie.

En 1701, l'amirauté dépêcha Halley dans la Manche afin qu'il y étudie les courants de marée, « là où il y a des demi-marées irrégulières que je suis plus que curieux d'observer ». L'impressionnante table des marées de Halley fut imprimée à Londres à la fin de l'année 1701 et publiée avec le *Pilote anglais* de Seller. Ces tables des marées permettaient à la flotte de la Royal Navy dans la Manche de rester en mer, de dériver au gré de la marée ou de ne pas quitter le mouillage lorsque le courant était contraire⁴⁹.

Le maniement des chiffres rapportés par des marins connaissant les littoraux (comme Sturmy et Colepresse) domina des parties entières du programme de Newton pendant des décennies. En 1685, dans sa première tentative d'établir un modèle des marées, tout en accordant sa confiance aux « tables des marées que Flamsteed a composées à partir d'un très grand nombre d'observations » et tout en mentionnant des observations en provenance de la Manche, des Indes orientales et du détroit de Magellan, Newton s'appuya quasiment exclusivement sur les chiffres de Sturmy pour les coefficients de marée de Bristol, « jusqu'à ce que l'on puisse plus sûrement déterminer la proportion de l'observation ». Mais un an plus tard, cherchant à établir une meilleure concordance entre ces coefficients de marée et le ratio entre les forces de marée dues à l'attraction solaire et lunaire – ratio qui pouvait lui permettre

par la suite de déduire la précession –, Newton décida d'incorporer également le chiffre de Colepresse faisant état d'une magnitude un peu plus élevée de la marée à Plymouth. Il annonça en outre par écrit que

tant que l'on ne pourra établir quelque chose de plus sûr en entreprenant des observations plus précises, on aura recours à la proportion moyenne [*proportio mediocris*]⁵⁰.

Lorsque, au début de l'année 1712, il commença à travailler avec Cotes sur ces propositions d'explication du phénomène des marées, l'importance relative à accorder aux chiffres de Sturmy et de Colepresse nécessita un nouvel examen : le jeune éditeur déclara à Newton que l'analyse des forces de marée de la Lune aux syzygies et aux quadratures indiquait une proportion qui

dépasse les limites de Bristol et de Plymouth. Je vous laisse donc le soin d'établir la totalité de la meilleure proposition qui pourra être faite.

Un mois plus tard, Newton avait décidé que son compte rendu du ratio des forces de marée dues à l'action conjointe du Soleil et de la Lune exigeait un retour à la stratégie de 1685 et impliquait de supprimer les observations de Colepresse.

Dans le calcul de la force de la Lune, déclarait Newton à Cotes, vous pouvez faire taire vos scrupules (je pense) en vous fiant plus aux observations de la marée de Chepstow qu'à celles de Plymouth.

Cette stratégie fut expliquée aux lecteurs des *Principia* : « En raison de l'amplitude de la marée dans le port de Bristol, les observations de Sturmy semblent plus crédibles. » Newton décida en outre de « s'appuyer » sur des chiffres soigneusement traités concernant la variation de la densité de la Terre, puisqu'une densité moins importante près de sa surface augmenterait le renflement du globe à l'équateur. La « mise à l'essai » des comptes rendus des marins, ainsi que des expériences menées sur la structure de

la Terre, lui donna, au final, un chiffre particulièrement précis pour la précession. Comme le remarque le biographe de Newton R.S. Westfall :

On pourrait considérer qu'il s'agit d'une conclusion plutôt ambitieuse, faite sur la base des mesures relevées par un capitaine des mers à la retraite.

Le fait est que Newton ne pouvait tolérer de différence entre de tels chiffres et son ordre de droit divin⁵¹.

La même méthode fut appliquée pour résoudre des phénomènes de marées particulièrement ardues, notamment celles du golfe du Tonkin, où l'on rapportait qu'il n'y avait qu'une marée par jour et une variation périodique graduelle de son amplitude en l'espace de deux semaines. Lorsque la Lune était proche de l'équateur, deux fois par mois, il s'écoulait une période de deux jours sans qu'aucune marée se produise⁵². L'auteur qui présenta le premier ces éléments chiffrés était un Américain du nom de Francis Davenport. Marin originaire de Boston, ce dernier s'était rendu en Inde en 1670, avant de travailler en qualité de maître d'équipage au comptoir que la Compagnie des Indes orientales avait créé au Tonkin en 1672. Représentant de la Compagnie au Tonkin, Thomas James ordonna à Davenport d'étudier les mouvements de marée dans l'estuaire du fleuve Rouge, entre mai et juin 1678, muni d'un compas fiable, mais

pas aussi bon que j'aurais pu l'espérer pour prendre les mesures. [...] De meilleurs instruments sont indispensables pour effectuer des observations dans des lieux aussi instables.

Davenport considéra qu'il était dangereux de traverser le golfe du Tonkin en périodes stationnaires et conseilla aux capitaines d'attendre pendant quelques jours l'apparition d'une forte marée. Il était aussi soucieux du fait que « les habiles pilotes du Tonkin » pouvaient exagérer les changements de courants ou les changements de bancs de sable « seulement pour éviter de perdre leur

emploi, sur la sûreté duquel, pourtant, le meilleur d'entre eux ne peut entièrement compter⁵³ ».

Des données numériques fiables fournies par la Compagnie des Indes orientales pouvaient, peut-être, remplacer les chiffres douteux donnés par des informateurs locaux. Ces étranges phénomènes de marée furent confirmés en 1663 par Robert Knox, capitaine de la Compagnie des Indes orientales et allié de Hooke, qui avait passé vingt ans dans les prisons sri-lankaises et qui fournit à la Royal Society ses premiers spécimens de chanvre (*ganja*) en provenance d'Orient. Ces chiffres furent corroborés lorsqu'un bateau de la Compagnie fit naufrage dans le golfe du Tonkin au début de l'année 1663. Les savants de la Royal Society apprirent la nouvelle par des marchands londoniens au printemps 1684⁵⁴. Proche collaborateur de la Compagnie après son expédition réussie à Sainte-Hélène en 1678, Halley traita à nouveau les données de Davenport pour le compte de la Royal Society. Il utilisa les estimations des marins concernant le coefficient de marée maximal dans le golfe du Tonkin et traita ces estimations comme s'il se fût agi de données astronomiques, et non comme des estimations locales du flux et du reflux de la marée. Au cours de l'année 1684, Halley produisit un modèle quantitatif de très grande exactitude associant la marée quotidienne, ainsi que son cycle mensuel, à la distance Terre-Lune, et ce à partir des points d'équinoxe. Son modèle estimait un marnage maximal d'au moins 18 pieds. Les chiffres acceptés à l'heure actuelle sont plus proches de 10 pieds et le meilleur modèle contemporain de cet étrange phénomène de marée fait état d'une résonance de la marée lunaire de douze heures dans le golfe, soit une onde stationnaire suivie d'un nœud stationnaire⁵⁵.

Confrontés au témoignage d'un des systèmes de marée les plus complexes au monde, les savants de Londres et de Cambridge se trouvaient donc à un tournant dans leurs calculs. En 1688, le navigateur William Dampier, qui avait sillonné les mers du monde entier, affirmait ainsi : « Les marées les plus irrégulières que j'aie jamais rencontrées sont celles du Tonkin, que M. Davenport a longuement décrites⁵⁶. » Au moment où Newton s'intéressait

à cet étrange phénomène, Davenport avait quitté son emploi au Tonkin pour se rendre sur la côte occidentale du royaume de Siam, où il travaillait en tant qu'agent pour Samuel « Siamois » White, un négociant des Indes orientales, qui travaillait à son propre compte, sur les brisées de la Compagnie anglaise des Indes orientales. Associé à ce fameux négociant interlope, Davenport vit sa réputation profondément mise en cause lors de la guerre des pamphlets qui agita Londres au cours des années 1687-1688, lorsque l'acte de piraterie perpétré par White aboutit à la destruction du comptoir anglais au royaume de Siam. White et ses alliés s'en prirent publiquement à la réputation de Davenport, ancien agent de White :

Davenport, ce vil misérable sur le témoignage duquel la Compagnie dépend étroitement, est l'un des escrocs les plus notoires que la nature ait jamais produits et il est considéré comme tel par tous les hommes honnêtes qui ont eu l'infortune d'entrer en affaires avec lui ou de le rencontrer⁵⁷.

Il fallait contrôler la crédibilité d'un compte rendu douteux en provenance du golfe du Tonkin et émanant d'un Américain à la réputation sulfureuse. Halley, qui avait navigué sur les navires de la Compagnie anglaise des Indes orientales, et donc Newton, étaient en effet tributaires des tables des marées fournies par « ce vil misérable » de Davenport. Newton donna une explication ingénieuse du phénomène complexe de la marée du golfe du Tonkin en omettant le nom de sa source : il devait y avoir, selon le savant de Cambridge, une addition et une soustraction périodiques de deux courants de marée à partir de deux entrées distinctes de l'océan dans le golfe. Autrement dit, il s'agissait là de l'un des tout premiers comptes rendus publiés d'un phénomène d'interférences de vagues (mascarets). Même Newton ne pouvait expliquer pourquoi cette marée diurne était si forte, renvoyant cette énigme scientifique à des navigateurs qui se rendirent plus tard en Orient⁵⁸. Newton, Cotes et Halley avaient de plus en plus besoin de témoignages fiables de marins de Formose, du Tonkin, du cap Horn et

du sud de l'Atlantique. Sans cet ordre de l'information, l'équilibre remarquable que Newton espérait atteindre entre ses calculs minutieux et les données brutes des observateurs (de 45 pieds au plus proche) était immanquablement voué à l'échec.

Comètes et pendules : lorsque l'information est obscurcie par des nuages

Les démonstrations que les comètes se meuvent dans des sections coniques dont le foyer est au centre du Soleil occupèrent les propositions finales des *Principia* et lui fournirent l'une de ses réussites les plus importantes. La présence de la cométographie à la fin de l'œuvre éclipse le fait que l'étude des comètes a été à l'origine du projet newtonien. Ce sont en effet les comètes qui ont conduit Newton à s'intéresser à l'astronomie dans les années 1660. Dans les années décisives, entre 1681 et 1685, ses compilations de catalogues de comptes rendus de positions, de mouvements et de natures des comètes faits par des observateurs du firmament ont été, en grande partie, à l'origine de sa nouvelle œuvre sur la signification théologique et les principes mathématiques de la philosophie naturelle. En 1681, Newton n'avait pas encore découvert la théorie de la gravitation universelle. Puis, alors qu'il commençait à compiler des histoires naturelles portant sur d'étranges phénomènes de comètes, il en vint progressivement à élaborer cette théorie⁵⁹. Ses collègues et ses informateurs connaissaient les problèmes de l'ordre de l'information sur les comètes. Lorsque John Flamsteed établit un compte rendu à propos d'une comète qui avait été aperçue au printemps 1677, il émit l'hypothèse qu'elle pourrait revenir tous les douze ans ; une telle périodicité, disait-il, saperait la « superstition [astrologique] du vulgaire ». Mais le vulgaire n'avait pas toujours tort. À la ligne suivante de sa lettre, précisément, Flamsteed avouait qu'il avait entendu tout d'abord un témoignage sur cette comète aux environs de Pâques, « mais comme elle ne provenait que de simples travailleurs des champs, je ne lui accordai guère de crédit ». Dans ce

cas-là, du moins, les travailleurs des champs se révélèrent avoir raison⁶⁰.

Pour étayer l'autorité des *Principia*, Newton et ses collaborateurs Cotes et Halley eurent recours à toutes sortes d'observations faites aux quatre coins de l'Europe, mais aussi dans le Maryland, au Brésil et en Chine, ainsi qu'à des informations provenant de chroniques minutieusement étudiées. Considérons notamment les comptes rendus effectués par le collègue jésuite de Kircher, Valentin Stansel, un missionnaire qui avait fait ses études à Prague dans les années 1650, puis qui avait été envoyé, en 1663, dans un collège jésuite de Bahia, sur la côte est du Brésil. À l'instar de Kircher, Stansel défendait une cosmologie qui prisait le monstrueux, le singulier et le sensationnel. La cométographie concordait parfaitement avec son objectif, qui consistait à retracer l'histoire naturelle des merveilles et des phénomènes étonnants de la nature. Mal outillé, avec une série d'instruments d'analyse obsolètes, se consacrant à la cosmologie astrale de son collègue Kircher, Stansel utilisa les méthodes mises au point par Tycho Brahe pour estimer les positions des comètes de 1664-1665 et de 1668. Il rédigea une série de dialogues sur l'astronomie, le commerce colonial et l'histoire naturelle, qui rencontra un large public et il se demanda comment les « médecins du Brésil ou d'Amérique » pouvaient raisonner sur les effets astrologiques des trajectoires des comètes, alors que ces corps célestes étaient nécessairement inconnus des Anciens. Ses données furent transmises à des journaux de Rome, puis à la Royal Society, par le truchement de Huygens⁶¹. Newton utilisa les observations de Stansel sur la queue spectaculaire de la comète de 1668 pour affirmer, contre les positions des jésuites, que leurs apparitions sont dues à la réfraction de la lumière du Soleil sur ces corps célestes⁶².

Le jugement critique formulé à l'égard d'anciens observateurs joua un rôle décisif. La méthode historique mise au point par Newton s'appuya sur des comparaisons entre des observations faites autrefois sur les trajectoires des comètes, pour forger une cosmologie au sein de laquelle les cieux étaient remplis d'éléments actifs qui les parcouraient, la Terre était à nouveau un élément vital

et les vérités de l'ancienne philosophie se trouvaient confirmées. À la fin de l'année 1682, lorsque Newton et Halley se lançaient dans ce projet, Hooke se penchait, dans ses conférences de Londres, sur le même problème ardu :

J'ai trouvé les témoignages de plusieurs historiens les concernant si différents les uns des autres sur la plupart des points que je ne savais auxquels me fier. Ce qui, je suppose, peut s'expliquer, soit par la différence dans leurs manières d'observer, soit par la différence de la qualité de leur vue, soit essentiellement en raison des différentes hypothèses qu'ils ont formulées, soit encore parce qu'ils ont été influencés par les écrits ou par les doctrines d'autres hommes⁶³.

L'évaluation du témoignage cométographique devenait indispensable. Ce fut particulièrement le cas pour Newton, parce qu'il fut le premier à affirmer que toutes les comètes se mouvaient autour du Soleil en décrivant des orbites elliptiques, dont les paraboles pouvaient être de bonnes approximations.

Dans ses études poussées en matière de chronologie et de prophétie, Newton dut analyser les anciennes chroniques pour y trouver des traces de régularité périodique ; il fit donc de même dans les dernières propositions des *Principia* pour y trouver des traces de périodicité des comètes. Il consulta des chroniques, comme la cométographie de l'astronome polonais Stanisław Lubieniecki, adepte du socinianisme, qui se trouvait alors en exil à Hambourg. Il eut accès à des données importantes d'Hevelius et de Halley sur les comètes, que ce soit directement, ou par le biais de Flamsteed. À l'été 1679, Halley visita l'observatoire d'Hevelius à Dantzic. L'objectif était de permettre à la Royal Society et à l'astronome royal de juger *in situ* la qualité des instruments controversés d'Hevelius, qui se trouvaient à ciel ouvert, sur le toit de sa demeure. Jed Buchwald s'est interrogé sur ce projet :

Comment Hevelius, compte tenu de son éloignement et de ses antécédents, pouvait-il convaincre des interlocuteurs lointains de la crédibilité de ses observations ?

Le voyage que fit Halley fut donc un voyage expérimental.

Si je n'avais pas vu, avoua Halley à Flamsteed au mois de juin 1679, j'aurais pu difficilement accorder foi à la relation de qui-conque ; véritablement j'ai vu la même distance répétée à plusieurs reprises, [...] de sorte que je n'ose plus guère douter de la véracité [d'Hevelius]⁶⁴.

Toutefois, des doutes subsistaient sur les travaux de ce dernier. Steven Shapin a montré comment ces doutes furent utilisés pour évaluer les données de l'observatoire de Dantzic sur les comètes et la Lune. Halley était toujours réticent à l'égard des affirmations d'Hevelius :

Il est de notre préoccupation commune de protéger la vérité contre les calomnies d'un vieux gentleman acariâtre qui ne peut se résoudre à admettre qu'il est possible de faire mieux que ce qu'il a fait⁶⁵.

Halley organisa une visite à l'observatoire en ruine de Tycho Brahe à Uraniborg et il se rendit également en France et en Italie au cours des années 1680-1682 (« Grand Tour »). Se trouvant à Paris au début de l'année 1681, il travailla en étroite collaboration avec l'astronome royal Jean-Dominique Cassini, absorbé à l'époque par l'étude de la grande comète de 1680-1681, que Halley avait tout d'abord vue alors qu'il se rendait à Paris et dont Newton recopia le témoignage dans son catalogue sur les comètes. Halley obtint de Cassini son ouvrage fondateur sur la comète, qui joua plus tard un rôle important dans les calculs de Newton. La grande comète était « remarquable par sa taille et terrible aux yeux du vulgaire ». Malgré ses efforts, Halley ne parvint pas à établir une trajectoire conforme à tous les phénomènes qui lui avaient été rapportés par ses observateurs parisiens. Ici, les débats sur les théories des mouvements des comètes, comme l'affirmation douteuse de Cassini selon laquelle la comète tournait autour de la Terre avec une périodicité de deux ans et demi, furent totalement intégrés dans la culture des experts et des savants⁶⁶.

Grâce à ses collègues français, Halley collecta également des informations importantes sur l'expédition astronomique que Jean Richer avait effectuée, en 1672, à la base française de Cayenne. D'autres voyages jouèrent un rôle important. À Avignon, Halley rencontra Gallet, dont les informations sur la comète de 1680 furent aussi utilisées dans les *Principia*. Alors qu'il se trouvait à Rome en 1681, Halley rejoignit le groupe travaillant à l'observatoire et au cabinet de la reine Christine de Suède, au Palazzo Riario. La reine Christine organisa un concours, auquel participèrent Cassini et Hevelius, visant à déterminer la trajectoire de la comète de 1680. À l'Académie de Ciampini, les astronomes de la reine Christine, notamment Marco Antonio Cellio et Giuseppe Pontio, fournirent à Halley d'autres positions sur la comète. En se rendant de Paris à Rome, Halley envoya à Cassini toutes ses données sur la latitude, ainsi que toutes ses observations romaines sur la comète. Newton et Flamsteed eurent accès à un très grand nombre de ces informations et Flamsteed commença à commenter ces comptes rendus à Gresham College, à Londres, en mai 1681⁶⁷. Tous ces matériaux furent utilisés dans les *Principia*. De retour à Londres au début de l'année 1682, Halley se lança dans des observations astronomiques et dans des débats avec Hooke, qui aboutirent à la visite, au retentissement considérable, de l'astronome voyageur à Cambridge, au cours de l'été 1684⁶⁸. Depuis le milieu des années 1680, les échanges entre Newton et Halley s'appuyaient sur une histoire naturelle des comètes et sur un ordre de l'information exploitant les conventions des témoignages de la république des lettres pour évaluer à la fois positions et observateurs. Dans ses carnets de 1681-1682, Newton utilisa la cométographie d'Hevelius, ainsi que d'autres sources, pour revenir sur des témoignages écrits d'Aristote, mais aussi sur des chroniques médiévales ou sur des comptes rendus d'informateurs dont Halley et Flamsteed avaient jaugé la crédibilité. C'est ainsi, comme le rapporta Flamsteed à Newton, que l'astronome royal s'entretint avec un observateur de comètes anglais, un « artisan ingénieux de Cantorbéry » dénommé Thomas Hill : « Je l'ai trouvé homme bien disposé, quoique très ignorant, mais je crois que ses observations sont aussi bonnes

que celles que Cellio a faites à Rome. » Dans les conférences qu'il dispensa à Londres, l'astronome royal évoquait les difficultés de concilier les témoignages en provenance de Cambridge et Avignon, Rome et Cantorbéry⁶⁹. Dans bien des cas, Newton chercha à exclure des données qui ne concordaient pas avec ses modèles et, jugeant ses observateurs, il trouvait par la suite des explications qui lui permettaient de justifier sa réticence à leur égard. Parfois, Newton adapta ses modèles pour intégrer des témoignages dont l'autorité lui semblait incontestable. Halley utilisa à de nombreuses reprises la technique consistant à évaluer la plausibilité des données collectées par d'anciens observateurs – sur l'accélération séculaire de la Lune et sur le mouvement propre des étoiles, par exemple⁷⁰. Dans les propositions finales des *Principia*, ces techniques sont apparentes. De menues différences entre ellipses et paraboles n'apparaîtraient que si les bases de données étaient fiables. Dans le cas des données collectées par Gallet à Avignon en 1680, les difficultés s'expliquaient par une erreur commise par Flamsteed dans sa datation des témoignages des Français (l'observateur royal utilisa le calendrier julien et non le calendrier grégorien). Des doutes apparurent : quel catalogue stellaire les astronomes français utilisaient-ils pour déterminer la position des comètes ? On s'intéressa aussi à la taille respective des instruments de Paris et de Greenwich. Enfin, une contradiction flagrante apparut entre le témoignage de Gallet sur la comète (novembre 1680) et celui d'un étudiant de Cambridge sur la queue de la même comète. Newton

était le plus scrupuleux dans l'examen de ce savant parce que je ne savais que penser de ces choses qui ne concordaient pas avec la comète de décembre. Et quand il me vit perplexe, il fut préoccupé et ajouta qu'il y avait d'autres savants qui l'avaient vue avec lui.

Il décida d'interroger son collègue Humphrey Babington sur les observations qu'il avait faites de la comète sur le toit de la chapelle de King's College, situant la queue de la comète plus au sud que ne l'avait indiqué Gallet. Mais, en réécrivant son ouvrage, Newton

rendit son verdict : la comète était passée très près de l'écliptique et la version de Babington fut supprimée. Pour compliquer un peu plus la situation, Flamsteed continua tout bonnement de défendre les mesures de Gallet, compte tenu du fait que ses précédentes observations du transit de Mercure (1677) avaient été particulièrement fiables⁷¹.

Telles furent également les circonstances dans lesquelles Newton eut recours aux observations sur les comètes effectuées par Thomas Brattle, le correspondant de Flamsteed dans le Massachusetts, lesquelles furent collationnées à Londres par Halley, avant que l'Américain ne se rende à Londres en 1682-1689 et ne noue des liens étroits avec l'astronome royal⁷². De semblables informations émanèrent d'Arthur Storer, l'ancien camarade d'école de Newton à Grantham et neveu de Babington. Storer continua à correspondre avec Newton du Maryland, où il dirigeait une plantation esclavagiste à Prince Frederick, dans le comté de Calvert. Storer envoya au savant de Cambridge des mesures de l'azimut de l'étoile Polaire ainsi que des données sur la comète spectaculaire de l'hiver 1680-1681. « L'instrument d'observation n'était qu'un outil de poche et il ne peut donc être aussi exact que d'autres de plus grandes dimensions », concéda l'observateur du Maryland. Ses observations de ce qu'il est convenu désormais d'appeler la « comète de Halley » (celle de 1682) sont supérieures à celles de Halley en personne et aussi à celles d'Hevelius, même si Storer demanda à Newton « un bon et grand arbalestrille d'environ six pieds de longueur, afin qu'il ne puisse pas plier ou se recourber sous le poids des états », ainsi que de meilleures tables astronomiques que celles que l'on trouve dans les almanachs des marins, sur lesquels il s'était appuyé jusqu'alors. Comme les témoignages de Storer s'intégraient parfaitement au modèle des comètes élaboré par Newton, ce dernier les approuva par écrit⁷³.

Des stratégies semblables furent utilisées pour l'astronome de Padoue Geminiano Montanari, un disciple notable de la philosophie naturelle galiléenne. Montanari fut cependant critiqué, parce que ses observations de la comète de 1680 furent considérées comme défectueuses par rapport à la norme définie par la trajectoire que

Newton et ses collaborateurs étaient en train d'élaborer. Dans ses cours de Londres, Hooke avait abondamment évoqué les comptes rendus vénitiens de Montanari, affirmant que de telles observations ne suffisaient pas à garantir si les deux comètes n'en faisaient en réalité qu'une, en raison des

différences d'observations entre plusieurs hommes, qui n'étaient peut-être pas suffisamment habiles pour faire les observations, ou d'autres qui, bien qu'ayant assez de savoir-faire, se trouvaient peut-être à court d'instruments appropriés à cette fin.

En 1713, Cotes et Newton décidèrent donc d'inclure la remarque suivante : « Montanari suspectait en dernier ressort que ses observations avaient été obscurcies par des nuages⁷⁴. »

En règle générale, le seul moyen de faire ressortir les éléments d'une orbite spécifiquement elliptique consistait tout d'abord à repérer deux comètes semblables dans les annales de l'histoire, puis à calculer quelle serait l'ellipse d'une orbite au cours de la période considérée, et enfin de confronter les rétrodictions de cette ellipse avec les observations. Telle fut la méthode historique recommandée par Newton et pratiquée par Halley tout au long des années 1690. Comme on sait, cette méthode conduisit Halley à « oser s'aventurer à dire » que la comète de 1682 reviendrait en 1758 et à déplorer la « façon très peu commune » dont les astronomes français faisaient leurs observations. Dans la même publication, il regretta, en outre, l'absence d'informateurs fiables sur des comètes plus récentes : « Si quelqu'un rapporte d'Inde, ou de l'hémisphère sud, une série précise d'observations requises, je me remettrai de bon gré au travail. » Ce travail dépendait des conventions d'un ordre de l'information dans lequel la connaissance des positions impliquait aussi que l'on prît des décisions sur les personnes détentrices du savoir⁷⁵.

Ces liens entre les essais d'instruments localement fiables, les personnes et la création divine furent encore plus clairs dans le travail qu'effectua Newton sur la longueur des pendules en Europe, aux Amériques et en Afrique. Tout en révisant minutieusement les

nouveaux *Principia* entre 1709 et 1713, Cotes travaillait également avec son collègue Jurin à la réédition de la *Geographia generalis*, l'ouvrage de Varenus édité par Newton. Les jeunes savants de Cambridge, férus de géographie, jugeaient en outre le crédit à accorder aux observateurs en astronomie ainsi qu'en géodésie, et notamment leurs comptes rendus sur les longueurs des pendules battant la seconde. Jurin dénommait ce casse-tête « le dilemme français », en raison des écarts entre les différentes mesures des longueurs des pendules, telles que rapportées par des observateurs français⁷⁶. Le dilemme fut traité dans la proposition 20 du troisième livre des *Principia* sur les poids des corps dans différentes parties de la Terre, où il était montré qu'il fallait en apparence raccourcir ces pendules près de l'équateur, où il semblait que la gravité était moins importante. Dans les années 1680, Newton avait espéré que

l'excès de gravité dans ces zones septentrionales par rapport à la gravité à l'équateur [serait] finalement déterminé avec exactitude par des expérimentations menées avec une diligence plus grande⁷⁷.

Cotes « envisagea le moyen de faire apparaître cette scholie au meilleur avantage des chiffres », lesquels étaient tirés d'une sélection de mesures françaises des longueurs des pendules. Les mathématiciens anglais devaient effectuer une table des variations des longueurs des pendules battant la seconde à différents endroits de la Terre. Cette table devait être précise à l'œil sur d'infimes différences de longueur, de l'ordre de la fraction d'une ligne (12 lignes = 1 pouce de Paris). Cotes considérait qu'une telle

exactitude, ici ou ailleurs, est négligeable pour ceux qui peuvent, à juste titre, juger votre ouvrage ; mais il faut satisfaire l'ensemble de vos lecteurs avec ces bagatelles, auxquelles ils attachent communément la plus grande importance⁷⁸.

Pour atteindre un tel degré d'exactitude, l'auteur et les éditeurs des *Principia* devaient évaluer la norme de la matière constituant la Terre et les normes fixées par les fabricants d'instruments (des Français, pour la plupart).

Les célèbres travaux effectués pendant dix mois par l'astronome français Jean Richer à Cayenne, en 1672, furent considérés comme un point de repère. Newton finit par rapporter qu'au cours des observations des transits méridiens, Richer avait tout d'abord découvert que son horloge à pendule était plus lente que le temps solaire moyen, puis qu'il avait délibérément effectué une expérience pour mesurer la longueur d'une pendule qui « oscillerait à secondes de temps, telles que mesurées par la meilleure horloge ». Si l'on privilégiait les données de Richer et si l'on prenait en considération la dilatation provoquée par la chaleur tropicale sur les cordes des pendules, alors les calculs de Newton faisant état d'une baisse réelle de la gravité près de l'équateur seraient bel et bien avérés. Si l'on prenait en considération un éventail de données collectées par les Français aux Antilles et en Afrique de l'Ouest, alors les chiffres suggéreraient une planète plus dense près de son centre et encore plus aplatie à ses pôles⁷⁹. Dans le cahier qu'il tint en 1681 pour collationner des observations de la grande comète de cette année, Newton avait déjà rappelé les observations de Richer, qui lui avaient été vraisemblablement transmises par Halley, lequel, comme le remarqua alors Newton, conclut qu'il fallait raccourcir le pendule à Cayenne. Newton ajouta en outre qu'à Gorée (le nouveau comptoir de la Compagnie du Sénégal en Afrique de l'Ouest), « l'observation était moins exacte ». Une controverse avait éclaté entre les personnes dépêchées là-bas. Leurs affirmations, en vertu desquelles il fallait aussi raccourcir les pendules à Gorée, et beaucoup plus que ne l'avait rapporté Richer pour Cayenne, étaient sujettes à caution. Il était important que les explorateurs pussent apparaître comme des « délégués » fiables. Par exemple, Richer rappela qu'il avait été en mesure d'obtenir le méridien local grâce à une pierre finement polie à laquelle il fixa ses instruments construits à La Rochelle avant son départ, et installés par la suite à Cayenne sur des meules se trouvant près de son observatoire et disposées au hasard⁸⁰.

Même s'il semblait que les observations de Richer avaient été obscurcies par des nuages, comme les travaux de Montanari sur les comètes, Newton écrivit plus tard que « la diligence et la prudence

[de ce Français] semblent avoir fait défaut chez d'autres observateurs⁸¹ ». L'objectif était d'établir une valeur crédible expliquant les différences de longueur des pendules battant la seconde, entre ceux que Newton commençait à appeler les « pendules isochrones » (qui avaient été utilisés en France) et les pendules utilisés sous les Tropiques. Cotes proposa d'adopter la valeur de « 3 pieds $8 \frac{10}{19}$ lignes pour la longueur du pendule ; pour les Français, cela fait 8 lignes et demie, parfois $8 \frac{3}{5}$, et $8 \frac{10}{19}$ est une moyenne de ces chiffres ». Une semaine plus tard, après avoir médité sur des variations « négligeables » de ces mesures, Cotes accepta de remplacer $8 \frac{9}{40}$ par $8 \frac{10}{19}$ parce que cette « fraction est plus simple et déjà en usage chez les Français ». Mais il y avait quelques difficultés à s'appuyer exclusivement sur l'usage français. Cotes indiqua à Newton que certains représentants français avaient découvert qu'il fallait raccourcir les pendules à un niveau légèrement supérieur à la limite souhaitée de 2 lignes $\frac{1}{4}$; toutefois, ces comptes rendus nécessitaient une explication convaincante. En outre, en 1684, l'astronome royal français Jean-Dominique Cassini avait émis des doutes sur le travail de Richer ; il donna donc pour instruction aux explorateurs français envoyés à Cayenne de mesurer les longueurs de pendule :

En vertu d'expérimentations très précises effectuées par ces messieurs de l'Académie de Paris, de La Haye, de Copenhague et de Londres, la longueur du pendule qui effectue une oscillation au cours d'une seconde est la même pour tout le monde. Ce n'est qu'à Cayenne qu'il a fallu raccourcir le pendule, mais on peut se demander si cela n'est pas dû à une erreur d'observation⁸².

Newton finit par abandonner les mesures que l'astronome Claude-Antoine Couplet avait prises, au cours des années 1697-1698, lors d'une expédition de France en Guinée via le Portugal : « Il est moins fiable car ses observations sont grossières. » Les valeurs relevées à Gorée (1682) et de nouvelles observations faites à Cayenne en 1700 furent à nouveau jugées « moins précises⁸³ ». Comme le savaient Newton et Cotes, la chaleur tropicale et le

vent pouvaient avoir une incidence sur la longueur des pendules. Selon Newton, tous les explorateurs français convenaient que tous les pendules ayant la même période d'oscillation devaient être raccourcis à l'équateur. Ce que Newton et Cotes appelaient une « quantité moyenne [*quantitas mediocris*] » de données en provenance des Caraïbes et de Gorée indiquait un raccourcissement de $2 \frac{9}{40}$ lignes.

En raison de la chaleur dans cette zone torride, écartons $\frac{9}{40}$ d'une ligne, et il restera une différence de 2 lignes. [Mais] la différence de la longueur des pendules à secondes de temps ne peut être seulement imputée à des différences de chaleur et elle ne peut être attribuée non plus à des erreurs commises par les astronomes envoyés de France. Car, même si leurs observations ne concordent pas parfaitement, les erreurs sont si petites qu'on peut les ignorer.

Et Newton et Cotes d'affirmer que « les différences entre les mesures » de plusieurs explorateurs français « sont presque imperceptibles » – quelques fractions d'une ligne – « et peuvent s'expliquer par des erreurs d'observation imperceptibles ». Dix ans plus tard, pour l'édition finale des *Principia*, Newton décida de ne pas faire état par écrit d'une « quantité moyenne » mais d'élargir cette notion pour parler de variabilité imperceptible mais certaine.

Ce désaccord peut s'expliquer, en partie en raison des erreurs d'observation, en partie en raison des différences de structure de la Terre et de la hauteur des montagnes, en partie en raison de la différence de température de l'air.

Comme l'a fait remarquer l'historien des mathématiques John Greenberg, Newton « bricolait certains détails qualitatifs de la théorie afin d'ajuster des observations qui ne concordaient pas avec la théorie⁸⁴ ».

Dans l'ordre de l'information du début de la période moderne, un tel bricolage avait un prix. Au mois de février 1712, Cotes demanda par exemple à Newton de consulter un mémoire récemment publié par le prêtre et explorateur français Louis Feuillée : ledit mémoire

portait sur des mesures de longueur des pendules relevées pendant trois mois à Porto Bello (isthme de Panama) à l'automne 1704 et, plus tard, au cours d'un travail de plus de huit mois effectué à la Martinique. Newton lut aussitôt le mémoire de Feuillée et intégra ses données dans un brouillon des *Principia*. Mais la longueur du pendule de Porto Bello était inférieure au maximum de 3 lignes à celle du pendule de Paris, une différence que Newton ne pouvait tolérer : « [Feuillée] a commis une erreur d'observation », écrivit le savant anglais dans ses *Principia* de 1713⁸⁵. La même année, Feuillée expliqua par écrit que les mesures du pendule de Porto Bello,

quoique de peu de conséquences, ne m'ont pas laissé en repos. J'ai longtemps cherché la cause sans la trouver. J'attribuai parfois la cause [de la différence de longueur] à la grande humidité provoquée par les pluies, parfois aux changements de vents, et je finis par adopter une longueur moyenne qui, je crois, est proche de la vérité.

Feuillée s'enorgueillissait, en outre, d'avoir effectué ses expériences sur les pendules en utilisant des fils de karata et des fils de fer, ainsi qu'une baguette en cuivre fiable pour prendre les mesures : « Je n'avais absolument aucun doute sur leur différence⁸⁶ », indiqua-t-il.

Ces propos furent remarqués lorsque la probité du célèbre historien naturel Louis Feuillée fut violemment mise en cause par un marin et espion français, l'ingénieur militaire Amédée-François Frézier, tout juste revenu lui aussi des colonies espagnoles des Amériques. Ce dernier indiqua que le prêtre Feuillée était trop vieux, que son train de vie était trop confortable pour effectuer des études véritablement éprouvantes et qu'il se consacrait trop « à la physique, à la botanique et à l'astronomie » pour être d'une aide quelconque aux navigateurs. En 1717, les lecteurs londoniens eurent vent de ces accusations, en partie parce que les récits en provenance du Pacifique et des Andes fascinaient les nouveaux investisseurs de l'ambitieuse Compagnie des mers du Sud, en partie parce que Frézier avait osé critiquer les célèbres tables

de variations de compas mises au point par Halley⁸⁷. Feuillée entra dans une colère noire et accusa Frézier d'avoir commis des erreurs géographiques, des erreurs de maniement d'instruments ainsi que des erreurs théologiques dans ses études des Amériques et des mers du Sud. Il en profita au passage pour répondre aux critiques qu'avait formulées Newton sur son travail de Porto Bello. Le mathématicien anglais aurait dû savoir que le climat en ces contrées était notoirement humide : il était impossible de « réduire à des lois géométriques une variation saisonnière de longueur de pendules variables ».

Newton n'avait pas de preuves lorsqu'il affirmait que les observations faites par Feuillée sur les « pendules isochrones » étaient fautives, mais le savant anglais avait dit tout de go qu'elles étaient entachées d'erreurs pour protéger ses « hypothèses fantasques », réalisées

dans un cabinet, protégées des tempêtes et du mauvais temps, que quiconque doit affronter dans les expéditions effectuées dans le but de perfectionner les sciences et les arts.

Frézier s'empara de l'attaque du prêtre français sur l'isolement et les préjugés de Newton, puisque cette accusation confirmait que « l'observation [de Feuillée], quoique faite avec soin, ne pouvait permettre de se déterminer en toute certitude ». Dans ces controverses publiques particulièrement révélatrices, étaient en jeu de nombreuses questions : celles de l'utilisation des instruments et du travail d'enquête, mais aussi la question de l'imputation, par des savants reclus dans leur laboratoire, d'erreurs commises par des explorateurs voyageant aux quatre coins de la planète⁸⁸.

Dans l'ensemble de ces études scientifiques, les liens entre voyage et isolement étaient fondamentaux pour produire du savoir et de la confiance dans la sphère du « savoir global ». Des variations irréductibles, dues à l'action humaine ou à la Création, furent peu ou prou utilisées pour expliquer ces écarts de mesures. Ces mesures furent par la suite utilisées pour tester le modèle de l'uniformité newtonienne, lequel devait être mis à son tour à l'épreuve

par les scientifiques français, espagnols et suédois qui parcoururent l'Europe du Nord et l'Amérique du Sud, au cours des années 1730, pour analyser la forme de la Terre. Avec la coopération quelque peu forcée d'un graveur indigène anonyme, les astronomes-voyageurs firent graver, en marbre, bronze, argent et or, la longueur à l'équateur d'un pendule battant la seconde dans le mur d'un collège jésuite de Quito. Cette longueur, ainsi conservée, était la « moyenne » de « résultats qui différaient à peine entre eux de plus d'une ligne ». Comme l'a remarqué l'historien Neil Safier, des problèmes de confiance et de contrôle de grande ampleur continuaient à dominer les efforts déployés par ces explorateurs pour parvenir à une « commémoration scientifique à distance ». Ainsi que l'ont montré plusieurs autres historiens, ce n'est qu'après un immense travail en matière d'instrumentation, d'observation, de crédibilité et de statut de la science, qu'il devint possible d'affirmer, pour reprendre la célèbre plaisanterie de Voltaire, que des personnes envoyées aux quatre coins du monde avaient découvert ce que le divin Newton « connut sans sortir de chez lui⁸⁹ ».

Dans les cieux comme sur la Terre

Cette action à distance dépendait des ressources de l'ordre de l'information du début de la période moderne. Dans les *Principia*, la reconnaissance de ces ressources et les jugements émis sur des données instrumentales peuvent être comparés au traitement réservé par Newton aux faux-monnayeurs lorsqu'il était directeur de la Monnaie royale et à la façon dont il interpréta les saintes Écritures ou les textes profanes. Au cours des années où il travaillait avec Cotes pour faire en sorte que les mesures des amplitudes de marées ou des longueurs de pendule s'inscrivent parfaitement dans les « limites » raisonnables de ses modèles mondiaux, Newton tentait également de trouver le prétendu « remède » permettant d'indiquer le nombre d'expérimentations nécessaires pour tester le poids et la finesse des pièces de monnaie, expériences régulièrement effectuées à la Monnaie royale. Comme l'a remarqué le

statisticien Stephen Stigler, les travaux précisément contemporains faits par le maître de la Monnaie pour estimer les durées d'anciens règnes et conçus pour contredire les revendications des Gentils à la plus haute antiquité, poussèrent également Newton à résoudre de semblables casse-tête d'estimation numérique⁹⁰. Newton jugea utile de lire dans les saintes Écritures des exemples des péripéties de la diffusion d'un savoir fiable, et de la mise à l'épreuve de la crédibilité des témoignages. Il est d'ailleurs symptomatique que ce savant en apparence immobile fut impressionné par des chroniques associant voyage et sources de véritable cosmologie :

Lorsque les Égyptiens se consacrèrent à la navigation, lorsqu'ils quittèrent les côtes près desquelles les hommes avaient jusqu'alors navigué et qu'ils se guidèrent au milieu des mers grâce au Soleil, à la Lune et aux étoiles, leurs rois, leurs princes et surtout leurs amiraux se consacrèrent à l'observation des cieux et à l'étude de l'astronomie⁹¹.

Les projets que Newton conçut au moins à partir des années 1680, lorsqu'il commença à rédiger les *Principia*, lui permirent de comprendre que le voyage et la vérité avaient une caution divine. Il montra que la véritable cosmologie avait été autrefois répandue aux quatre coins du monde par des voyageurs experts et que, dans le monde millénariste, des voyageurs angéliques navigueraient en toute liberté dans l'espace cosmique. La célèbre formule prophétique tirée du livre de Daniel (12, 4), et exploitée par Francis Bacon et ses admirateurs, qui, dans la King James Version, est donnée comme : « *Even to the time of the end : many shall run to and fro, and knowledge shall be increased* » (« Au temps de la fin, plusieurs courront çà et là et la connaissance en sera augmentée »), fut utilisée pour indiquer des liens visionnaires entre le voyage, la vérité et la fin des temps. Newton pouvait s'appuyer sur les *topoi* assez répandus du voyage extatique céleste, d'une part, et de la diffusion de l'ancienne sagesse, de l'autre. Mais ces deux affirmations revêtaient une importance particulière au moment où Newton construisait son propre système du monde.

Newton contribua à concevoir une histoire complexe qui montrait que les voyages philosophiques religieux avaient participé à la construction du véritable système du monde. Il y avait eu une véritable et ancienne cosmologie, « la religion que Noé avait diffusée à sa postérité », comme il l'affirma dans les années 1680, juste avant d'achever les *Principia*. La cosmologie originelle décrivait un Soleil au centre de l'univers, une force d'attraction agissant à distance sur des planètes, des lunes et des comètes, soutenue par un culte public de la vertu sociale. Selon Newton, cette croyance était autrefois répandue aux quatre coins de la Terre. Elle faisait l'objet de commémorations dans des « prytanées », des temples circulaires au centre desquels se trouvait l'autel du feu sacré⁹². Pour rédiger ses *Principia* et ses essais de théologie, Newton lut les écrits de jésuites et de calvinistes, d'archéologues et de missionnaires. Appliquant aux mémoires de ces savants et aux récits de ces voyageurs, qui avaient sillonné la Terre de la Chine à l'Irlande à la recherche d'antiques monuments, les mêmes techniques de collationnement et d'estimation raisonnée que celles qu'il avait appliquées à l'analyse des comètes, des marées et des pendules au cours des mêmes années – de 1683 jusque dans les années 1690 et même après –, Newton affirmait que ces modèles cosmiques étaient visibles à Stonehenge, au Danemark, en Palestine, aux Indes orientales et en Chine. D'antiques voyageurs, comme Orphée et Pythagore, avaient noué des contacts avec les Égyptiens et avaient adopté par la suite leur cosmologie. Des explorateurs répandirent la doctrine de la vérité en voyageant sur terre et sur mer. Puis la corruption apparut, avec la doctrine des sphères solides, celle du géocentrisme et, en raison de cela, le culte fallacieux voué à des rois morts, ainsi que la tyrannie de la superstition monacale, lorsque ces voyages prirent fin et que les Gentils embrassèrent le paganisme. Tous ces éléments furent déjà interpolés, en 1684-1685, dans les sections inaugurales des premiers brouillons du dernier livre des *Principia* (« Le Système du monde »), sous la forme d'une longue préface à l'analyse des données, collectées par marins et mathématiciens, sur les marées et les comètes⁹³.

Dans la plupart des célèbres additions présentes dans la deuxième édition des *Principia*, on assiste à un processus de « certification » par la divinité du traitement des données collectées aux quatre coins de la Terre. En 1713, certaines hypothèses, adaptées des règles newtoniennes de l'interprétation du livre de l'Apocalypse, furent reprises sous la forme de *regulae philosophandi*. La deuxième règle stipulait :

Les effets du même genre doivent toujours être attribués, autant qu'il est possible, à la même cause [...] Qu'à la descente des pierres en Europe et en Amérique⁹⁴.

Newton faisait ici de ce principe une règle prudente qu'il indiquait aux philosophes naturels et non un principe tiré de la Nature. En ce sens, les *Principia* étaient un manuel destiné aux voyageurs⁹⁵. Puis il ajouta un dernier *Scholium generale* pour montrer à ses détracteurs rationalistes le rôle de Dieu dans le domaine de la philosophie naturelle. Sur la base de ses gigantesques recherches sur le règne de Dieu dans les Écritures et les textes prophétiques, Newton affirmait désormais par écrit que c'était l'autorité suprême de Dieu, et non Son sage Projet, qui était garante de la constance et de l'uniformité de la Nature⁹⁶.

La règle de philosophie pragmatique que Newton adopta au début du troisième livre des *Principia* suggérait que les philosophes naturels devaient supposer que les pierres étaient tombées pour la même raison en Europe et en Amérique. Mais c'était l'autorité suprême de Dieu, soulignée à la fin du livre, qui rendait cette hypothèse véridique, à savoir que la divinité était garante de la signification et de la force du régime de savoir imaginé ensemble par naturalistes et philosophes naturels, en Europe et en Amérique, et ainsi dans l'ensemble de la Création. Dans les années 1680, alors qu'il commençait à travailler sur le projet des *Principia*, Newton prenait de longues notes sur la géographie de la cité céleste. Pour le savant de Cambridge, comme pour ses contemporains, c'est l'uniformité divine qui était garante de la

variété de la Création et qui contribuait de la sorte au régime de savoir dont les *Principia* étaient le couronnement :

Toutes les régions d'en bas étant remplies de créatures vivantes, [...] que les cieux d'en haut soient remplis d'êtres dont nous ne comprenons pas la nature.

Le royaume céleste décrit par Newton était intrinsèquement lié à l'ordre de l'information newtonien. Cet extrait éloquent, que nous citons tel quel, donne une image plus juste que celle des coquillages au bord de la mer. Il montre comment Newton lui-même considérait les rôles profondément intriqués de l'échange, du voyage et de la souveraineté, dans les cieux comme sur la Terre :

Les planètes restant dans leur orbite, que tous les autres corps célestes vivent à distance de la Terre, et que bien d'autres corps, qui ont suffisamment de forces pour se mouvoir d'eux-mêmes, se déplacent où ils le veulent, se positionnent où ils le veulent, et continuent, dans toutes les régions célestes, quelles qu'elles soient, à jouir de la compagnie l'un de l'autre, et que, par leurs hérauts ou anges, ils règnent sur la Terre et qu'ils communiquent avec les régions les plus reculées [...]. Car avoir la souveraineté sur des cieux entiers et le choix de demeurer dans les lieux les plus heureux est, semble-t-il, un bonheur plus grand que celui d'être confiné à un endroit, quel qu'il soit⁹⁷.

Les analyses de l'ordre de l'information des *Principia* permettraient de montrer comment un tel agencement s'est produit. Elles permettraient aussi de comprendre le rôle de la transcendance céleste attribuée alors à cette philosophie et quel type de « souveraineté » elle impliquait. Elles permettraient d'obtenir une meilleure généalogie de la relation fascinante entre les mécanismes sociaux à l'origine du témoignage et le statut moral de l'isolement. Quelques mois après la mort de Newton, le poète écossais James Thomson évoquait « l'arrivée [du grand homme] sur la terre du salut », son « discours empli de peur » avec les anges, et ses voyages effectués « sur une aile de chérubin, comparant les

choses entre elles, en extase perdu ». Les vers de Thomson sont, d'une certaine façon, des lieux communs de la littérature anglaise du XVIII^e siècle, mais ils font état d'une apo théose de l'ordre de l'information newtonien⁹⁸.

Aux XVIII^e et XIX^e siècles, la culture britannique s'est beaucoup penchée sur la philosophie naturelle de Newton, sur l'ordre de l'information de l'économie mondiale et sur la mécanique céleste. Il a cependant semblé tout aussi important de conserver une ligne de démarcation entre « voyage terrestre » et « voyage spirituel ». Le statut même du génie newtonien semblait dépendre de son isolement et les vertus du génie ont joué un rôle évident dans « l'avènement de la planète ». Le lien entre les voyages et l'apo théose de Newton est resté un lieu commun de la littérature anglaise. L'un des lecteurs de Thomson, le diplômé de Cambridge William Wordsworth, adapta ainsi son *Prélude* sur « la silencieuse marée du temps » et sur « la mer sans bornes de la vaste éternité » à un objectif plus vaste. Comme chacun sait, Wordsworth ajouta, en 1850, un couplet à la version finale de son *Prélude* de 1805, évoquant la statue immobile de Newton dans la chapelle de Trinity College :

L'index de marbre d'un esprit pour toujours
Voyageant sur les mers étranges de la Pensée, seul⁹⁹.

L'objectif était ici de montrer que la réussite de cet étonnant voyage intellectuel tient au fait que Newton n'était pas – et qu'il ne pouvait pas être – seul, de quelque manière que ce fût.