LA FABRIQUE DES SCIENCES MODERNES

SIMON SCHAFFER

LA FABRIQUE DES SCIENCES MODERNES

(XVII^{e}-XIX^{e} SIÈCLE)

TRADUIT DE L'ANGLAIS
PAR FRÉDÉRIQUE AÏT TOUATI, LOÏC MARCOU, STÉPHANE VAN DAMME

ÉDITIONS DU SEUIL
25, bd Romain-Rolland, Paris XIV^{e}

ISBN 978-2-02-116984-3

© Éditions du Seuil, mars 2014

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

PRÉFACE

Les études réunies dans cet ouvrage couvrent vingt-cinq années de recherche historique et deux siècles et demi d'histoire des sciences. Le lecteur est invité à lire un recueil de nouvelles ou d'« histoires », et non un roman-fleuve. Ces « histoires des sciences » ont essentiellement pour cadre l'Europe occidentale, principalement la Grande-Bretagne et la France, depuis les crises politico-religieuses traversées par ces deux États au XVII^e^ siècle, jusqu'aux mutations industrielles et économiques de la fin du XIX^e^ siècle. Le lecteur est convié à effectuer un voyage dans l'espace : cours et académies, observatoires et laboratoires, théâtres et manufactures constitueront le terrain d'élection de l'étude. Parfois, l'enquête se déplace aux Amériques ou en Asie ou dans l'immensité de l'espace intersidéral. Parfois encore, c'est dans l'univers des roues dentées et des appareils électromagnétiques, des atomes et des molécules, que le lecteur est invité à voyager. Toutes les histoires réunies dans ce livre se situent à un moment charnière : l'avènement du capitalisme et son développement aux quatre coins du monde – développement limité, sans doute, par les événements de cette période. Ces histoires sont destinées à être lues comme un ensemble de récits de voyage, un peu à la manière des *Aventures de Robinson Crusoé* ou des *Voyages de Gulliver*. Mais il s'agit ici de lire les récits de voyageurs qui se sont lancés dans un périple d'un nouveau genre : l'exploration des contrées vierges de la science. À l'instar des récits de voyage, l'intérêt de nos « histoires » repose sur l'évocation des coutumes des peuples rencontrés (les savants) et sur la fiabilité du récit de l'explorateur.

Une idée fortement répandue veut que la science obéisse à une méthode unique et qu'elle suive un progrès uniforme : c'est la raison pour laquelle on attend généralement des historiens des sciences qu'ils transcrivent dans leurs études ce cheminement rectiligne, marqué par le progrès scientifique et le triomphe des valeurs morales. Mais les études réunies dans cet ouvrage infirment cette théorie. L'un des objectifs de l'histoire des sciences devrait être de familiariser le lecteur avec la notion d'« étrangeté », en donnant à lire des récits présentant d'autres mondes et d'autres peuples, exclus du domaine de la raison par la force, le silence ou le mépris. C'est pourquoi la liste des personnages qui participent à ces « histoires des sciences » peut sembler aussi longue qu'étonnante : on y trouve des artisans et des journalistes, des soldats et des courtiers en Bourse, des teinturiers et des ingénieurs, des comédiens et des charlatans. Toutefois, l'histoire des sciences doit aussi avoir pour objectif de remettre en question ce qui nous semble « familier », en réexaminant les bases mêmes de notre savoir et de notre culture et en jetant sur ces derniers un regard extérieur, comme étranger. C'est la raison pour laquelle la liste des personnages que l'on retrouve dans nos « histoires des sciences » comprend aussi quelques scientifiques de renom : Newton et Clairaut, Priestley et Lavoisier, Maxwell et Arago. De même que les aventures de Robinson Crusoé et de Gulliver mêlent habilement l'exotisme et le monde connu, les études réunies ici associent étroitement l'« étrange » et le « familier ». On ne trouvera donc ici ni modèle unique ni principe universel des découvertes scientifiques. Bien au contraire, les études réunies dans cet ouvrage ont pour mission de proposer quelques moyens utiles de réfléchir au rôle joué par les sciences dans le monde. Ces essais suggèrent que le savoir scientifique se construit souvent de manière locale et triviale, qu'il ne s'appuie pas sur des méthodes particulièrement géniales ou rationnelles, mais sur l'effort de persuasion et de crédibilité. Une grande partie de ce savoir se forge sur la base d'un travail précis et ingénieux. Il dépend de lieux spécialement organisés pour lui, et à partir desquels il est diffusé. Mais ce travail n'est pas neutre, il constitue ces lieux en retour.

Voici donc quelques questions que l'on pourrait se poser à l'égard des sciences, telles qu'elles figurent dans cet ouvrage. S'il s'agit de mettre l'accent sur la nature et les sites des activités scientifiques, quelle différence existe-t-il – si tant est qu'il y en ait une – entre science et technologie, entre savoir et pratique ? Si les sciences sont à ce point ancrées dans le local, comment ce qui fonctionne à tel endroit fonctionne-t-il à tel autre et, en principe, partout ? Est-ce que ce mode de raisonnement ne contribue pas à renforcer le clivage entre le travail brut – décrire la manière dont le savoir s'accumule – et la tâche, tout aussi importante, qui consiste à évaluer et à examiner la façon dont le savoir se construit, et ce à quoi il sert ?

Les études réunies ici, réalisées durant les vingt dernières années, s'intéressent à ces questions et s'appuient sur les nouvelles méthodes à l'œuvre en histoire des sciences. Une approche conventionnaliste se serait concentrée autrefois sur les écrits des scientifiques et aurait analysé la structure formelle de leur argumentaire, ainsi que les préceptes méthodologiques mis au jour dans les manifestes scientifiques. Cette approche est désormais complétée par l'étude des pratiques, telles que l'expérimentation, la fabrication des instruments, la reproduction des expériences et le travail de terrain. Le travail des scientifiques est ici envisagé comme un réseau intriqué d'activités pratiques en prise avec le monde naturel, et non comme la création d'une série de propositions théoriques vérifiées par la simple observation de ce monde. Mon enquête passe donc en revue les lieux où le savoir scientifique est élaboré par des groupes de praticiens.

Dans le passé, les historiens des sciences pensaient souvent que leur tâche consistait à relater l'évolution des sciences naturelles dans le temps, et les manuels de la discipline avaient souvent recours aux fines fleurs de la rhétorique pour souligner les progrès des connaissances humaines. Mais, comme on l'a déjà compris, mes recherches mettent tout autant en valeur le rôle de l'espace que du temps dans le développement du savoir scientifique. Le travail de reproduction des expériences, par exemple, qui est fondamental pour établir des faits, est étudié à partir des relations entre des

laboratoires distants spatialement et à travers les moyens mis en œuvre par les scientifiques pour qu'une découverte technique faite à tel endroit puisse être reproduite ailleurs. Les cartes des découvertes scientifiques et des réseaux de techniques et de savoir-faire sont nombreuses dans notre ouvrage. L'objectif est de montrer que le développement universel de la science moderne est la résultante, non pas tant d'un progrès inévitable et historiquement cumulatif du savoir, mais d'un processus qui démultiplie délibérément les lieux où les techniques scientifiques peuvent être appliquées.

Au postulat du consensus se substitue le postulat de la divergence. Les philosophes des sciences estimaient autrefois que, dans le domaine scientifique, il existait un consensus autour d'une définition de la nature et qu'à ce titre elle ne méritait pas d'explication. *A contrario*, ils estimaient que c'étaient la controverse et la différence de points de vue qui étaient l'exception et qui nécessitaient une justification. Les histoires réunies dans cet ouvrage adoptent un parti pris inverse. C'est le consensus qui est considéré comme problématique, et l'analyse se focalise essentiellement sur les moyens permettant aux scientifiques d'aboutir à un accord sur les faits et de mettre fin aux controverses. Le désaccord, pour sa part, est considéré comme un terrain d'observation fécond et non comme un problème moral. De fait, les groupes sociaux exposent rarement en public les présupposés sur lesquels se fonde leur vision du monde, mais ils le font, en revanche, lorsqu'ils sont en conflit. C'est pourquoi les histoires réunies dans le présent ouvrage portant sur le monde scientifique tentent de lever le voile sur les principes de ses acteurs, en mettant au jour leurs divergences.

Une attention toute particulière est ainsi consacrée aux institutions qui ont fait les sciences et qui leur ont permis ou interdit d'être considérées comme « scientifiques ». C'est la raison pour laquelle des institutions telles que les laboratoires, les musées, les observatoires, les académies et les collèges tiennent une place si importante dans cet ouvrage. Les frontières qui délimitent ces institutions jouent un rôle tout aussi central. Pendant longtemps, il a paru fondamental de conserver certaines lignes de démarcation entre sciences pures et sciences appliquées, entre sciences

et société, entre savant et profane. Mais la perméabilité de cette ligne de démarcation est tout aussi essentielle : les sciences pures sont appliquées à des fins humaines ; elles dépendent des conditions de l'ordre social et elles contribuent à mobiliser le savoir du « profane » et le savoir du scientifique. L'analyse de ces frontières est une affaire publique, en aucun cas la prérogative de spécialistes confinés dans leur tour d'ivoire. Le laboratoire coupé du monde est une institution majeure dans le domaine scientifique, et, dans certaines de nos « histoires », on visitera des laboratoires où sont menées des expériences électriques, chimiques ou magnétiques. Mais cette géographie institutionnelle ne se limite pas aux seuls laboratoires : elle inclut les cafés autant que les musées, les îles comme les villes, les observatoires aussi bien que les théâtres. Ces lieux sont aujourd'hui d'une importance capitale pour les sciences, tout comme ils l'étaient autrefois. Ces institutions contribuent à définir le déploiement et la signification des sciences, ainsi que leurs relations avec la vie de tous les jours. Même des sujets en apparence éloignés, tels que la distinction entre science et technologie ou la relation entre science et raison pratique, sont étroitement corrélés à la manière dont fonctionnent ces institutions.

Il existe un thème qui relie fortement entre elles plusieurs de nos « histoires » : c'est le rôle du spectacle, de la représentation. Si l'on veut étudier le contexte local et matériel de l'aventure scientifique, il convient de comprendre le rôle de la représentation. On a trop souvent une image fausse des hommes de science : ces derniers conduiraient leurs expériences de manière isolée, à l'écart de la société, après quoi ils vulgariseraient leurs découvertes auprès du grand public et de façon fort peu scientifique. Mais il faut tordre le cou à cette idée reçue : pensez ainsi aux nombreux lieux de sociabilité dans lesquels le spectacle contribue, non seulement à divulguer les découvertes scientifiques, mais à participer à la « fabrique des sciences ». Certaines de nos histoires analysent la dimension « spectaculaire » de l'aventure scientifique dans les foires et les théâtres du XVIII^e^ siècle ou dans les observatoires et les manufactures du XIX^e^ siècle. Il importe de montrer ici que la fabrique du savoir et son statut social ont par excellence

une dimension « spectaculaire » et que cette « représentation » du savoir se tient le long des frontières perméables qui délimitent les institutions scientifiques.

Le lien entre corps laborieux et représentation est souvent confirmé, pendant la majeure partie de la période étudiée, par le pouvoir du marché et les flux de capitaux. Ces « histoires des sciences » analysent la façon dont les machines et les corps des travailleurs ont pu être dotés d'un pouvoir productif et comment le développement de ce pouvoir est allé de pair avec l'avènement du personnage de l'expert scientifique. C'est pourquoi les concepts de « confiance » et de « crédit » tiennent une place aussi importante dans ces récits. Ces notions renvoient à des enjeux à la fois commerciaux, intellectuels et de statut social. La capacité à produire du crédit est à l'évidence vitale pour le devenir des sciences, au plan économique comme au plan intellectuel. Parallèlement à l'histoire du corps et du théâtre, les historiens des sciences doivent donc étudier l'histoire de la confiance, du « crédit ». Certaines histoires font état de l'exclusion dont furent victimes des personnes et des lieux, parce que ces derniers n'avaient pu bénéficier du crédit adéquat ; d'autres histoires tentent d'expliquer l'émergence des systèmes de crédit dans les sciences contemporaines. Il convient de rappeler que plusieurs de ces termes – la confiance et la foi notamment – ont également des connotations religieuses. De fait, l'histoire des sciences a souvent tourné autour du thème du « désenchantement du monde », de la perte de confiance. Pourtant, cette thématique ne coïncide guère avec l'actualité des sciences. Au lieu d'assister à une crise et à une disparition de la confiance dans les sciences, nous assistons au contraire aujourd'hui à une prolifération des formes d'expertise et des modèles d'autorité. Cette situation a, à son tour, complexifié la notion de « compréhension publique des sciences » (*public understanding of science*), concept fourre-tout par excellence. Après tout, cette expression a été utilisée pour montrer, simultanément, dans quelle mesure le grand public comprend et accepte le discours des sciences sur le monde ; et dans quelle mesure il adhère au fonctionnement des sciences. Ces deux significations ne se recoupent pas et il serait

erroné de les fusionner. En conséquence, le plus grand défi de cette histoire des sciences est peut-être de renforcer la compréhension des processus qui ont fait et qui continuent à faire en sorte que les sciences travaillent le monde.

CHAPITRE 1

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 rivage [1].

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 face[3]. »

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 Ramsay[4]. 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 Newton[5]. »

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 humain[6].

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 Newton[8]. 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 concert[9].

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 inspirée[10]. » 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 vigilance [11]. 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'information [12]. 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 moderne [13].

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'encyclopédies [14]. 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 cafés [15]. 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 crédit [16].

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 expédiées[17].

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 ingénieux 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 éloignées[18].

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 institutions[19]. 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 Terre[20].

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 Society[21]. 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 tinctoriales[22].

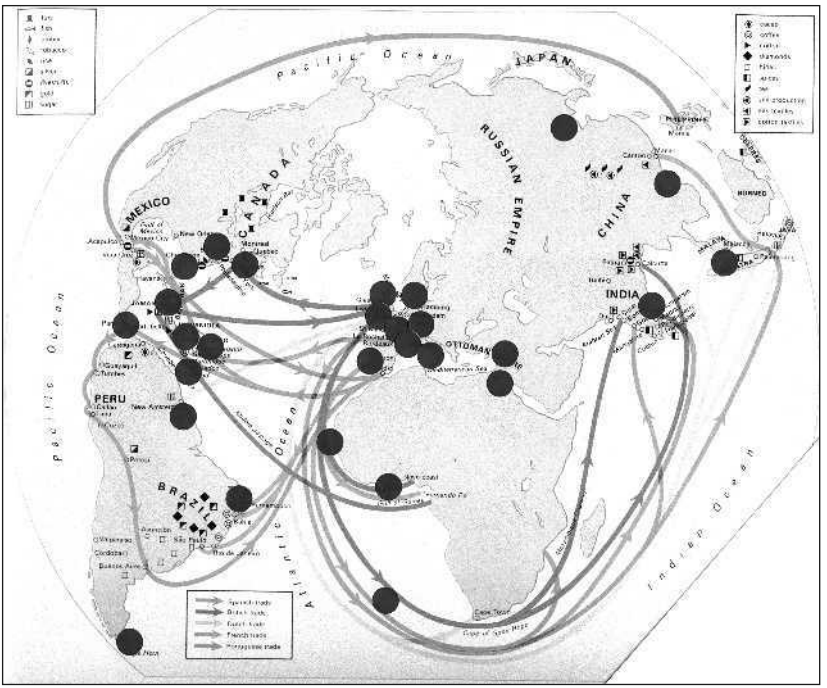
Des systèmes d'information remarquables, comme ceux mis au point par la Société de Jésus, la VOC et la Compagnie royale d'Afrique et, à Londres, par Oldenburg et Sloane, encouragèrent les expérimentations menées sur des objets mais aussi sur des personnes. Cette accumulation des connaissances reposait explicitement sur le crédit et la crédibilité, qui pouvaient toujours faire défaut. Newton, Sloane et Locke ne le savaient que trop bien[23]. 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 Newton[24] ? 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 Psalmanazar[25]. 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 concordaient 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-irlandaises[26].

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 inexploré[27] ».



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 moderne[28].

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'univers[29]. 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 retraite[30]. 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 protagonistes[31]. 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 livre[32].

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 terrestres[33]. 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'examinateur 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'espace[34].

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 Soleil[35].

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, remit 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 observateurs[36].

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 consommée[37]. 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 1687[38]. 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 Terre[39]. 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 Japon[40] ». 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 Terre[41].

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 Danube[42]. 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 Bermudes[43]. 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 Lune[44] ». 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 marée[45]. 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 mer[46] ». 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-pouce[47] ».

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 capital[48]. 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 contraire[49].

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 divin[51].

La même méthode fut appliquée pour résoudre des phénomènes de marées particulièrement ardus, 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 produise[52]. 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 compter[53] ».

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 1684[54]. 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 stationnaire[55].

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 décrites[56]. » 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 rencontrer[57].

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 Orient[58]. 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 théorie[59]. 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 raison[60].

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 Huygens[61]. 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 célestes[62].

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 hommes[63].

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 Lubienecki, 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 Dantzig. 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 ?