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^*

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 978-2-02-116985-0

© Éditions du Seuil, mars 2014

www.seuil.com

Ce document numérique a été réalisé par Nord Compo.

TABLE DES MATIÈRES

Couverture

Copyright

Préface

Chapitre 1 - Newton à la plage : l'ordre de l'information dans les Principia mathematica

L'image que le monde peut avoir de moi

Ordres de l'information et économies du « crédit »

Marées et courants : une résolution de Tonkin

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

Dans les cieux comme sur la Terre

Chapitre 2 - Halley, Delisle et la fabrique de la comète

Les tables de Halley et leur usage

La défense de Cassini

Delisle et les astronomes parisiens

Delisle et les astronomes anglais

L'exil russe

Delisle et Euler dans les années 1740

Préparatifs pour la comète de Halley

La fabrication de la comète

Chapitre 3 - La philosophie naturelle et le spectacle public au XVIIIe siècle

Puissances actives et conférences publiques

Philosophes électriques

Tremblements de terre et électricité

Météorologie et police médicale

Esthétique et moralité

Chapitre 4 - Les techniques de l'expérimentateur, les mains du teinturier et le planétarium électrique

Tours de main et techniques manuelles

Le tour de main du teinturier

Le savant et l'artisan

La construction du planétarium électrique

Le fonctionnement du planétarium électrique

Ordre du travail, caprices de la main

Chapitre 5 - Mesurer la vertu : eudiométrie, Lumières et médecine pneumatique

La pneumatique, science des Lumières

Le test de l'air nitreux et la chimie phlogistique

L'eudiométrie et le despotisme éclairé

L'eudiométrie appliquée aux airs, aux eaux et aux lieux

L'air inflammable et l'air nitreux : la transformation de l'eudiométrie

Conclusion : L'atmosphère de la réforme

Chapitre 6 - Quand les astronomes marquent leur temps. Discipline et « équation personnelle »

Psychologie et équation personnelle : un récit simpliste

Discipliner l'observateur

Entre la tour de guet et l'atelier

Imagination des amateurs et compétence des professionnels : un débat autour de la personnalité

Conclusion : « Les gardiens de nos facultés »

Chapitre 7 - Une manufacture d'ohms. La métrologie de la fin de l'ère victorienne et son instrumentation

La métrologie de Cambridge et le système du télégraphe

Le programme des standards de la British Association (BA)

Le laboratoire Cavendish en institution métrologique

Les unités de résistance internationalisées

Chapitre 8 - Expérimentations publiques

Notes

Index

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

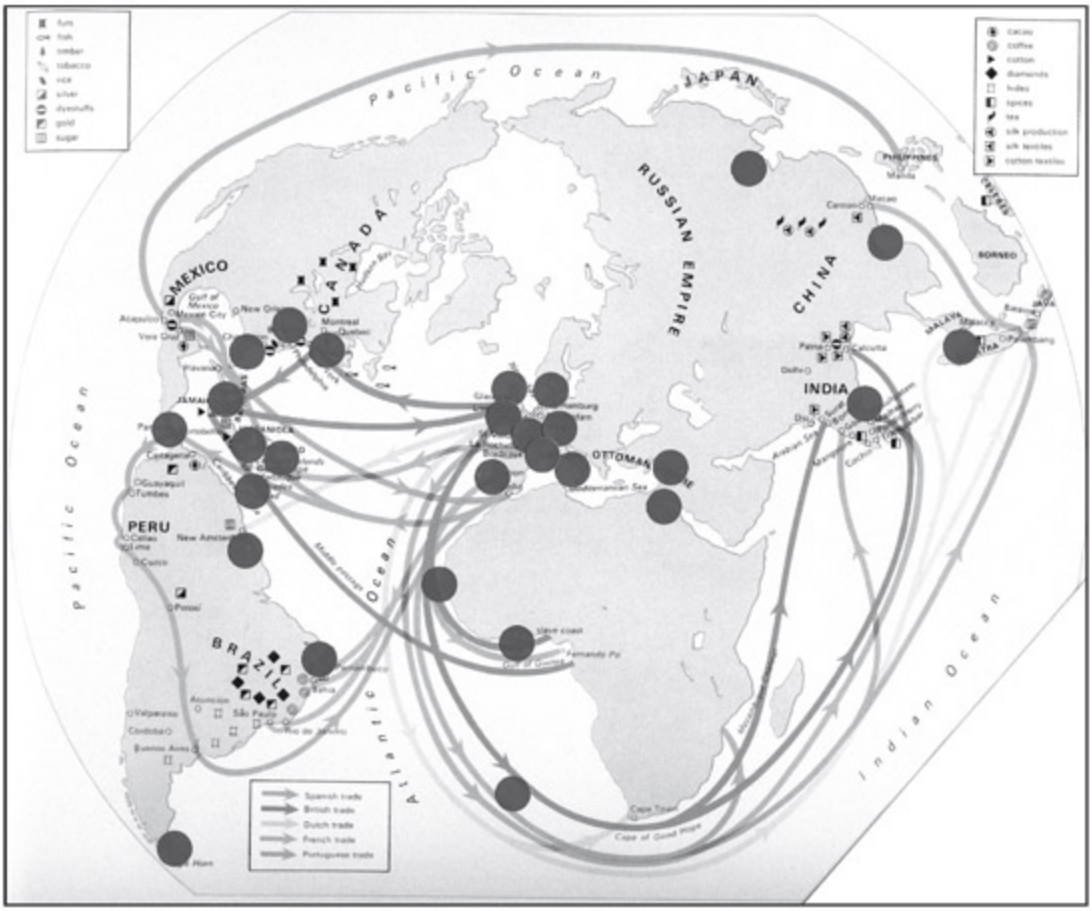
habitant de l'île Formose fuyant ses maîtres jésuites et qui publia une histoire naturelle et civile de son île, puis enseigna sa langue (inventée) à Christ Church (Oxford), avant de devenir suspect et de révéler finalement son imposture. Le président de la Royal Society, Isaac Newton, convoqua le prétendu 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 ?

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 quiconque ; 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 Dantzig 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 fait[65].

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 savants[66].

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 1681[67]. 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 1684[68]. 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 Cantorbéry[69]. 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 exemple[70]. 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 fiables[71].

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 royal[72]. 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 étais », 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 écrit[73].

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 nuages[74]. »

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 savoir[75].

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 Varenius édité par Newton. Les jeunes savants de Cambridge, férus de géographie, jaugeaient 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 français[76]. 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 grande[77].

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 importance[78].

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'un 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 pôles[79]. 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 hasard[80].

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 observateurs[81] ». 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 $^{10}/_{19}$ lignes pour la longueur du pendule ; pour les Français, cela fait 8 lignes et demie, parfois 8 $^{3}/_{5}$, et 8 $^{10}/_{19}$ 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 $^{9}/_{40}$ par 8 $^{10}/_{19}$ 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 ¼ ; 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'observation[82].

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 précises[83] ». 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 $2\ ^{9}/_{40}$ lignes.

> En raison de la chaleur dans cette zone torride, écartons $^{9}/_{40}$ 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 théorie[84] ».

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 1713[85]. 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 différence[86] », 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 Halley[87]. 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 planète[88].

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 lui [89] ».

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 numérique[90]. 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'astronomie[91].

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 *topoï* 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 sacré[92]. 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 comètes[93].

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 Amérique[94].

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 voyageurs*[95]. 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 Nature[96].

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 soit[97].

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 apothéose de l'ordre de l'information newtonien[98].

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'apothéose 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, seul[99].

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.

CHAPITRE 2

Halley, Delisle et la fabrique de la comète

Les prédictions couronnées de succès du retour en 1759 de la comète de Halley ont longtemps marqué le triomphe magnifique de l'autorité de la mécanique céleste newtonienne. Cet épisode est devenu le paradigme des moyens par lesquels le succès de telles théories prédictives fonde leur crédibilité. Mais, tout comme la formation des *Principia mathematica* qui reposait sur un complexe réseau d'informations et de témoins, la capacité des astronomes à décrire et à prédire les trajectoires des comètes dépendait d'échanges souvent fragiles et controversés comme le révèle le réseau de correspondance de l'Europe éclairée. La prédiction de 1759, à l'image du jugement proclamant l'évidente victoire de la cométographie de Newton et de Halley, n'était ni simple, ni inévitable. C'était, dans bien des acceptions, une entreprise qui reposait sur, mais aussi définissait, le territoire du newtonianisme.

Les tables de Halley et leur usage

En 1728, un an juste après la mort de Newton, Henry Pemberton entreprit une synthèse des acquis et des méthodes de la cométographie de Halley et de Newton, tels qu'ils étaient alors

reconnus en Angleterre. Éditeur de la troisième édition des *Principia* (1726), Pemberton affirmait que « les comètes évoluent selon des orbites elliptiques, mais d'une forme très oblongue », et ont une excentricité orbitale si grande qu'elles « ressemblent fort à des paraboles et pourraient aisément être confondues avec elles ». Pemberton expliquait ensuite les implications de tels faits ; les comètes allaient revenir, mais la seule façon de prédire leur retour était d'utiliser une méthode « historique » : construction d'une parabole, et donc des éléments d'une orbite ; recherche d'éléments similaires dans d'anciennes observations de transits afin de déterminer une période. « Comparer différentes apparitions de la même comète est la seule manière de découvrir avec certitude la forme véritable de l'orbite. » Pemberton nota également que la déclaration de Halley concernant le retour de la comète de 1682, annoncée à la Royal Society en juin 1696 et publiée en 1705, n'était en aucun cas une certitude. Des perturbations dues aux planètes principales pouvaient facilement modifier la période prévue par Halley[1]. Chaque élément de la synthèse de Pemberton constitue une judicieuse simplification du travail accompli par Halley et Newton entre 1684 et les années 1720. Les théories qui affirmaient que toutes les comètes allaient revenir, que les paraboles pouvaient donner une approximation utile, et que les planètes pouvaient perturber l'orbite, furent toutes contestées et corrigées pendant la première moitié du XVIII^e^ siècle. Le fragile consensus dans le domaine de la cométographie finalement établi en 1759 fut donc le résultat d'efforts nourris pour comprendre et clarifier ces théories.

Newton avait supposé que les comètes évoluent selon des orbites fermées un peu avant d'avoir la preuve de cette intuition. À la fin de l'année 1684, son opuscule *De motu* proposait l'idée que les parcours des comètes étaient elliptiques et que, en se basant sur leur

> magnitude, excentricité, [péri]hélie, inclinaisons au plan de l'écliptique et comparaisons des nœuds de différentes orbites, on pourrait déterminer si c'est la même comète qui revient toujours[2].

Pourtant, en septembre 1685, Newton n'avait pas encore réussi à calculer la moindre orbite de comète ; peu après, il achevait son « Système du monde », dans lequel il réaffirmait la clôture de l'orbite[3]. Le travail accompli par Halley à l'automne 1695 résultait de la conviction que les orbites de la comète de 1680-1681 et de celle de 1682 étaient des ellipses, la première ayant une période de plus de 500 ans et la seconde d'« environ 75 ans ». Dès avril 1687, Halley avait suggéré de travailler sur un grand nombre de comètes, et en juin 1698 il pouvait annoncer à David Gregory qu'il avait achevé de réunir les données d'au moins 14 ou 20 d'entre elles – son tableau de 1705 réunissait les données de 24 comètes[4]. La deuxième édition (1713) des *Principia* comprend les prédictions de Halley pour la comète de 1682 et une vague mention de celle de 1680-1681. À la troisième édition, cette mention fut étendue afin d'identifier la comète de 1680-1681 comme étant la même que celles de 44 avant J.-C., de 531 et de 1106[5] après J.-C.

Le contexte des affirmations sur les comètes dans les *Principia* mettait clairement en rapport leur passage et des considérations fonctionnelles sur leur rôle cosmologique, tel que la cause des cataclysmes et le renouvellement de l'activité terrestre et stellaire. À l'évidence, ce sont de telles considérations qui ont conduit Newton à adopter très tôt un modèle elliptique[6]. C'est ainsi qu'en 1738 Voltaire déclarait que

> ce serait non seulement une faute considérable de prolonger le mouvement parabolique au-delà des distances dans lesquelles les comètes sont visibles, mais nous risquerions en outre de nous interdire ainsi de les revoir jamais[7].

Maupertuis, citant les travaux de David Gregory, remarqua que les comètes étaient désormais « rétablies dans toute la réputation de terreur qu'elles avaient autrefois », et souligna que la méthode « historique » était encore, en 1742, la seule manière de prédire leur effrayant retour :

> Elles sont capables d'apporter de terribles changements sur notre Terre et dans toute l'organisation des cieux, changements contre lesquels seule l'habitude peut nous réconforter[8].

De telles hypothèses rapprochaient l'idée du passage des comètes et des conceptions particulières de la fonction et de la structure des comètes. Les savants ne distinguaient pas leurs spéculations sur la matière dont les comètes étaient composées, et les théories sur leur rôle dans la production ou la destruction des planètes et des étoiles, donc sur les forces susceptibles d'agir sur elles. En 1717, lorsque Halley acheva une nouvelle version du *Synopsis*, il ajouta à ses tableaux de comètes et d'éléments paraboliques une analyse plus détaillée de la comète de 1682. Comme l'a montré Rigaud, la confiance qu'avait Halley en la justesse de ses prédictions s'était alors sérieusement émoussée. Alors qu'il avait entrepris en 1705 de « prédire avec assurance », en 1717 il déclarait : « Je pense que je pourrais tenter de prévoir[9]. » Il signalait à ses lecteurs que la différence entre les orbites de 1682, 1607 et 1531 « [lui] semblait

un peu trop importante[10] ». En empruntant à Kepler la technique qu'il utilisait dans les *Tables rudolphines*, Halley fit le calcul pour une ellipse de 75,5 ans (la moyenne des deux périodes précédentes), à partir duquel le mouvement moyen et l'anomalie réelle pouvaient être obtenus. À partir de ce tableau, il calcula 13 positions pour la comète de 1682, et montra que cette méthode produisait des erreurs de seulement 8 minutes en longitude et 10 minutes en latitude pour 1607 et 1531, même si la marge d'erreur avait tendance à augmenter vers la fin du transit en octobre 1607.

Mais cette belle réussite ne suffit pas à résoudre le problème principal de Halley. Comme il l'explique, l'inégalité dans les périodes successives

> est beaucoup plus importante que dans celles observées dans les révolutions d'une seule planète, puisque l'une de ces périodes excède l'autre de plus d'un an […] alors que l'inclination de la comète de 1682 est plus large de 22'que celle de la comète de 1607[11].

Afin de résoudre cette difficulté, Halley fit appel à la proposition 13 du troisième livre des *Principia*, dans laquelle Newton évoque les irrégularités dans l'orbite de Saturne causées par l'attraction de Jupiter. À la conjonction des deux planètes en février 1683, la période de Saturne pouvait être modifiée de plus d'un mois. Newton note que cette irrégularité produit de profondes modifications dans le mouvement moyen de la planète et conseille vivement de centrer l'orbite de Saturne sur le centre de gravité de Jupiter et du Soleil. Halley avait soulevé ce problème pour les comètes dans une lettre à Newton d'octobre 1695, mais ils en avaient conclu que les observations faites par Hevelius, Cassini et

d'autres étaient trop imprécises pour servir de données fiables, et, quoi qu'il en soit, une telle méthode n'était pas utilisable pour étudier le parcours d'une comète. C'est pourquoi, en 1717, Halley s'appuya sur une approximation en ordre de grandeur pour mesurer la perturbation. Il en conclut que Jupiter allait probablement accélérer la comète, et pouvait donc prévoir un passage pour la fin de l'année 1758 ou le début de l'année 1759. Et de commenter :

> Tout cela n'est rien d'autre qu'une petite tentative, et nous laissons à ceux qui survivront le soin d'approfondir la question jusqu'à ce que les événements viennent confirmer nos prédictions,

avant de conclure sa conjecture par un ornement patriotique : « La postérité se souviendra que c'est à un Anglais qu'elle doit cette découverte[12]. »

Face à cette publication timorée et confuse, les astronomes ont surtout souligné l'obscurité de la technique mise en œuvre par Halley et ont mis en doute la véracité de ses prévisions. De manière caractéristique, Le Monnier fit un commentaire amer de sa propre traduction des tableaux de Halley en 1743 : « Ce qui était autrefois limpide est désormais devenu presque inintelligible[13]. » Dans son panorama de l'astronomie du XVIII^e^ siècle, publié en 1827, Delambre réussit à faire dériver les équations de Halley directement de l'équation générale d'une ellipse, mais contredit la déclaration de Pingré selon qui Lacaille, Lalande et d'autres avaient fidèlement suivi la méthode de Halley. En réalité, comme le nota Delambre,

> la méthode nous était totalement inconnue, si ce n'est dans le tableau général des mouvements paraboliques entièrement

> modifié par Lacaille, et […] même Pingré préféra développer ce dernier tableau plutôt que celui de Halley[14].

En 1827, Delambre fit le bilan de la situation de la cométographie à l'époque des premiers travaux de Lacaille en 1746 en ces termes :

> Cette indifférence avait comme cause principale l'obscurité de la méthode de Halley dans cette section de son livre, et la rareté des détails qui auraient pu intéresser les astronomes[15].

Bien entendu, la plupart des obstacles rencontrés par Halley lui-même au sujet des perturbations et de la fiabilité de la méthode « historique » étaient toujours d'actualité dans les années 1740. Les catalogues d'étoiles restaient imprécis, les premières observations n'étaient pas fiables, et il n'y avait aucune manière de déterminer avec assurance une orbite à partir de trois observations en moyenne faites pendant un transit. En 1766, selon Delambre, Pingré remarqua qu'« une erreur de quelques secondes est souvent suffisante pour modifier l'ellipse en une parabole ou une hyperbole ». De fait, l'attraction planétaire est capable de provoquer une telle modification :

> la comète s'écarterait de son propre parcours à l'infini, et pourrait passer d'un système au système voisin. À quoi servirait cette communication[16] ?

Il y avait en outre matière à formuler des critiques très spécifiques à l'encontre des déclarations publiques de Halley lui-même. Il avait prédit le passage des comètes en 1759, 1789 et 2255.

Même si la dernière, selon les mots de Delambre, « ne pouvait en aucune manière intéresser la présente génération[17] », la prédiction déclencha les foudres du mathématicien de Cambridge Richard Dunthorne. Dans un chapitre publié en novembre 1751, il mit au jour une importante contradiction entre la comète de 1106 et celle de 1680, contradiction qui

> doit beaucoup diminuer, si elle n'annule pas tout à fait, la force des arguments avancés par M. Halley pour démontrer l'identité de ces deux comètes[18].

Cette erreur dans les travaux de Halley était préoccupante pour les astronomes qui s'intéressaient au passage de 1759. S'il pouvait se tromper à ce point au sujet de 1680, qu'en était-il pour 1682 ? Au cours du siècle, Maskelyne, Méchain et leurs collègues entreprirent à leur tour de démolir la prédiction de Halley selon laquelle la comète de 1660 reviendrait en 1789 ; même si Bailly et Messier l'attendirent vaillamment, son absence constituait déjà un élément établi de la cométographie[19].

Ce problème s'ajoutait à celui des détails du passage de la comète de 1682. Les irrégularités de période étaient si importantes qu'en 1758 Thomas Stevenson suggéra dans le *London Magazine* qu'il y avait en réalité deux comètes, chacune ayant une période de 151 ans[20]. Dans sa propre édition des tables de Halley, Lalande décrivit dans le détail l'erreur de Halley concernant la perturbation causée par Jupiter. En premier lieu, une accélération de la comète ne pouvait allonger la période que si les positions de l'orbite étaient invariables, ce qui n'était manifestement pas le cas. En second lieu, quand la comète était passée près de Jupiter en 1683, l'accélération qu'elle avait subie en 1681 aurait été totalement éliminée, et non

contrebalancée comme Halley l'avait supposé. Enfin, ce qui modifiait vraiment le parcours de la comète n'était pas sa proximité momentanée avec Jupiter mais, par exemple, le déplacement du Soleil dû à l'attraction de Jupiter ; mais ce calcul supposait des compétences bien supérieures à celles dont disposait la mécanique cosmologique du temps. Lalande concluait :

> Lorsque le passage de la comète arriva finalement, le moment où la comète devait apparaître était absolument inconnu, et, à partir de l'année 1757, tout le monde l'attendait et la cherchait[21].

Il semble que de nombreux astronomes utilisèrent le passage de la comète en 1759 afin de nourrir des scénarios concurrents sur l'avenir de la cométographie. Ainsi, le 25 avril 1759, Lalande fit devant l'Académie un discours soigneusement mûri. Son ton mêlait la célébration du triomphe du programme de recherche initié par Halley, et la critique des insuffisances affligeantes de ses travaux, ce qui revenait en fait à mettre en avant les réussites de la mécanique cosmologique française. Une telle déclaration supposait de donner une exacte définition de ce qu'avait accompli Halley, ainsi qu'une définition tout aussi exacte des caractéristiques d'une comète. C'est pourquoi Lalande dut s'échiner à montrer que la comète de 1759 était bien la même que celle de 1682, malgré leurs différences en matière de période et d'apparition. « Écartons donc comme une absurdité toute réflexion qui pourrait tendre à faire croire que cette comète ne peut pas être celle de 1682. » Lalande devait répondre à l'objection selon laquelle la comète de 1759 n'avait pas de queue. Elle n'en avait pas, suggérait-il, en raison de sa distance par rapport au Soleil et parce que « la comète ne se trouvait cette année dans

aucune de ces circonstances favorables ». Il soulignait en outre la surprenante irrégularité des périodes successives, contredisait radicalement le récit que donnait Halley des perturbations, et refusait la suggestion faite par Euler en 1744 selon laquelle la résistance de l'éther pouvait expliquer l'accélération du mouvement de la comète : « J'ai démontré dans un mémoire sur les équations séculaires que ce système d'accélération universelle n'avait aucune sorte de réalité[22]. »

Lalande devait également reconnaître la nécessité d'un choix délicat entre les orbites elliptiques et paraboliques. Ainsi, le 21 mai 1759, la comète était, à 102° 45'42 », en totale anomalie quel que soit le parcours choisi, mais les distances auraient été de 1,4596 unité astronomique (UA) dans une ellipse et de 1,4978 UA dans une parabole. Cette différence dépendait totalement du choix du type de période :

> Pour le 21 mai, la véritable anomalie dans la parabole est plus petite de 44'50 » que dans l'ellipse, quand on considère la plus longue période […] et seulement de 2'si on considère la période entre 1607 et 1682 […] On voit donc la nécessité de décider soigneusement quelle période utiliser[23].

Résumons : des astronomes comme Lalande se sont efforcés de convaincre leur public que la comète était la même, qu'ils utilisaient des critères d'identité propres aux comètes et fondés sur leur position, et donc que la comète était bien revenue ; retour qui signait le triomphe de leur mécanique céleste. Une telle stratégie supposait d'évaluer soigneusement les propres réussites de Halley. Ses méthodes étaient confuses et souvent sous-exploitées, ses affirmations discutables. Personne n'était non plus convaincu que les

comètes allaient revenir et que les prévisions de Halley sur les perturbations étaient justes. Il semble, dès lors, que cette manière de présenter le retour comme un succès pour la cométographie newtonienne telle qu'elle était représentée par le *Synopsis* de Halley, constitue en elle-même une réussite concertée et soigneusement mise en scène par les astronomes qui contrôlaient les cérémonies du Paris scientifique en 1759.

Rien n'était moins aisé que de peindre ce tableau d'une mécanique céleste triomphante. À Paris, d'Alembert déclarait que l'essentiel du travail avait été effectué par Halley en 1705 et privait ainsi ses ennemis, parmi lesquels Clairaut et Lalande, du crédit qu'ils recherchaient[24]. À Cambridge, le professeur d'astronomie Roger Long se faisait l'écho des conceptions de Newton concernant le lien étroit entre la fonction des comètes et leur passage. Les perturbations étaient une fonction des forces auxquelles les comètes étaient soumises, l'apparence de leur chevelure était une conséquence de leur rôle cosmologique ; des considérations téléologiques nourrissaient ainsi les arguments en faveur du passage de la comète, et de sa nécessité. Long rétorqua à la critique de Halley par Lalande en affirmant que l'identification des comètes de 1607 et de 1682 était due à Halley, de même que l'observation des effets perturbateurs de Jupiter et la prévision du retard de la comète[25].

En Grande-Bretagne, en outre, le passage des comètes était considéré comme inséparable de leur rôle comme agents du pouvoir divin et de la restauration. Les conceptions de Newton sur ce point furent largement diffusées par les *Principia* et les nombreux commentaires qu'ils suscitèrent en Angleterre. En 1728, Pemberton leur avait consacré un long exposé. En 1742, l'érudit écossais Sir John Clerk, formé à Oxford par Halley et Gregory, écrivit pourtant à

l'éminent mathématicien Colin Maclaurin que la prédiction du passage des comètes était une vaine préoccupation, du fait même de l'activité de diverses forces dans les cieux. Deux ans plus tard, à la suite d'une série d'apparitions de comètes, le *Gentleman's Magazine* révéla que, selon Maupertuis, le passage d'une comète pouvait avoir de terribles conséquences, ce à quoi Richard Yate répondit que, puisque les comètes étaient de simples « météores solaires »,

> qui peut manquer de sourire en voyant l'ingénieux Dr Halley s'acharner à décrire l'orbite et à calculer la révolution périodique d'un simple feu follet ou d'un Jacques à la Lanterne[26] ?

Les théologiens virent eux aussi dans les comètes d'utiles objets pour leurs affaires. En 1755, dans son commentaire sur le récent tremblement de terre de Lisbonne, John Wesley confondit les comètes de 1680 et de 1682 dans ses efforts pour avertir ses ouailles du désastre imminent de son prochain passage. Les esprits échauffés ne s'apaisèrent pas malgré le passage de 1759, et furent même confortés dans leurs inquiétudes par les déclarations triomphales faites à la suite de cet événement[27].

En outre, presque aucun consensus n'existait quant à la bonne manière de considérer les comètes comme des objets relevant de la mécanique céleste. En 1759, Lalande s'opposa à tout recours aux causes finales, mais suggéra également que les chevelures des comètes étaient conçues afin d'« adoucir l'aridité qu'elles subissent et de permettre circulation, fluidité, mouvement et vie[28] ». Dans les années 1740, Euler, à la suite des déclarations de Halley au début des années 1690, lança l'idée que la résistance de l'éther devait avoir des effets visibles sur le mouvement des comètes, des planètes

et des satellites. Il suggéra de comprendre ce phénomène comme une « preuve, purement physique, du fait que le monde, dans son état présent, doit avoir eu un commencement, et doit avoir une fin[29] ». Euler et Clairaut proposèrent également d'importantes modifications à la loi de l'inverse du carré, alors que d'Alembert, Buffon, et plus tard Euler, mentionnèrent une action magnétique entre les corps célestes comme une force supplémentaire possible[30].

Ainsi, la préservation d'une version inaltérée de la mécanique céleste posait nombre de problèmes, qu'il s'agisse de la loi des forces, du rôle des comètes ou de l'étude de l'apparence des comètes et de leurs chevelures. L'utilisation du passage de la comète de 1759 pour justifier le programme newtonien dans le domaine de la mécanique céleste impliquait un processus complexe de négociation par les astronomes, qui furent forcés de clarifier les résultats exacts obtenus pendant le dernier demi-siècle d'étude des comètes, puis de prouver que les prédictions issues de ce programme avaient désormais triomphé.

La défense de Cassini

Présenter le passage de 1759 comme un « succès » posait des problèmes spécifiques qui sont bien mis en lumière dans un mémoire de César-François Cassini (III) publié la même année. En tant que chef de l'équipe de l'observatoire de Paris, Cassini III prit en charge la défense de la recherche astronomique traditionnelle qui avait vu son apogée à l'époque de son père, Jacques, et de son grand-père, Jean-Dominique. Sa défense était implicitement dirigée contre les déclarations selon lesquelles le passage de 1759 signifiait la victoire décisive de la mécanique céleste des astronomes réputés

anglophiles. Dans son mémoire, Cassini III fit trois commentaires. En premier lieu, il souligna que son père et son grand-père avaient tous deux trouvé des erreurs conséquentes dans la théorie newtonienne des comètes ; ainsi, en 1737, Jacques Cassini (II) avait annoncé une différence de 32 minutes de longitude dans la position de la comète apparue cette année-là. De ce fait, les données de l'Observatoire « surprirent les astronomes par leur conformité avec les observations ». En deuxième lieu, Cassini III déclara qu'il n'y avait rien d'inhabituel dans la méthode « historique » utilisée par Halley pour sa prédiction ; au contraire,

> je pense que cette idée était celle de tous les astronomes de son temps ; c'est sur ces bases que mon grand-père a annoncé le passage de plusieurs comètes.

Enfin, Cassini III fit remarquer que même si la théorie de Newton avait en effet « permis à Halley de construire sa table d'observation des comètes », cela n'impliquait pas que tous les astronomes contemporains étaient forcés d'accepter toutes les conséquences de la mécanique céleste newtonienne[31].

Les remarques de Cassini III avaient de quoi convaincre. En 1681, Jean-Dominique Cassini (I^{er}) avait publié une analyse détaillée du parcours de la grande comète de cette année-là, et avait décrit son orbite comme un large cercle autour de la Terre d'une période de 2 ans et demi. Il donna une copie de son livre à Halley, qui se trouvait à Paris au printemps de l'année 1681. Halley raconta ensuite à Hooke que Cassini avait tenté de montrer que la comète de 1680-1681 était la même que celle de 1577 observée par Tycho Brahe et que celle de 1665. Halley reçut avec scepticisme le modèle de Cassini I^{er}, mais ne fut pas capable d'en proposer un autre lui-

même. Il ne réussit pas, notamment, à construire une ligne droite adéquate. Il déclara à Hooke : « Il est tout à fait remarquable que trois comètes puissent parcourir exactement le même chemin dans les cieux à la même vitesse[32]. » Ce fut le premier contact de Halley avec la science des comètes, et cet épisode a joué un rôle important dans la construction de ses propres idées sur le passage des comètes.

Cassini I^er^ approfondit et corrigea sa compréhension du passage des comètes pendant la première décennie du XVIII^e^ siècle. Il rejeta violemment l'opinion de La Hire selon laquelle les comètes étaient de simples phénomènes météorologiques. En 1699 et en 1702, il publia des analyses d'autres comètes semblables et encouragea Maraldi à comparer selon la même méthode les comètes visibles à cette époque. Cassini I^er^ déclara en 1702 que

> le travail que nous avons entrepris en ce siècle sur la comparaison des comètes a déjà eu pour conséquence de prédire le parcours qu'une comète va suivre après l'avoir observée deux ou trois fois[33].

Les programmes de l'Observatoire et des cométographes anglais avaient donc beaucoup en commun. Comme Halley, Cassini I^er^ fit remarquer que des causes physiques inconnues provenant de régions situées au-delà du système Terre-Soleil pouvaient être responsables des déviations massives dans les parcours des comètes. Comme Halley et Lalande, Cassini I^er^ nota que les chevelures des comètes étaient accidentelles et pouvaient donc présenter des variations considérables, ce qui risquait d'empêcher qu'on reconnaisse une comète lors de sa deuxième apparition :

> Pour toutes ces raisons, même lorsqu'on a trouvé la période d'une comète, il n'est pas possible d'être certain de son retour lorsqu'on la voit à nouveau[34].

On comprend pourquoi le programme d'observation des comètes proposé par Cassini I^er^ a pu être interprété comme étant l'équivalent de celui de Newton et de Halley.

Après la mort de Cassini I^er^ en 1712, il devient plus difficile d'établir une telle équivalence entre les cométographies française et anglaise. Des problèmes émergèrent précisément au moment où les astronomes français furent confrontés aux efforts de propagande appuyés des défenseurs anglais de la cométographie newtonienne. Pourtant, les astronomes de l'Observatoire, et leur commentateur Bernard de Fontenelle, trouvèrent de multiples façons de préserver leur propre programme de ce défi posé par les Anglais. Il semblait n'y avoir aucune raison de modifier en profondeur un programme qui comportait toujours de frappantes ressemblances avec la méthode de Halley. Même les défenseurs les plus actifs des théories optiques de Newton en France, comme Pierre Rémond de Montmort, un disciple de Malebranche, se déclaraient tout à fait satisfaits par l'étude traditionnelle des comètes. En 1700, Montmort alla en Angleterre, où il rencontra Newton et Gregory, puis y retourna en 1715 et assista alors aux expériences publiques de Desaguliers sur l'optique, puis visita l'observatoire de Halley. Il fit également la connaissance du mathématicien de Cambridge Brook Taylor, à qui il envoya des caisses de champagne à son retour en France. Pourtant, en 1719, Montmort réitéra sa fidélité au programme de Cassini. Les alliés de Newton en Grande-Bretagne avaient entendu dire que Montmort était en train d'écrire un long manuscrit qui attaquait l'astronomie de Newton. John Keill suggéra à Taylor que le

mouvement rétrograde des comètes et leur retour en ellipses autour du Soleil constituaient des arguments décisifs contre la théorie des tourbillons. Taylor essaya ces arguments sur Montmort, qui, fort de la réputation de Cassini, répondit : « Je sais avec certitude que nos meilleurs astronomes, et ceux qui font le plus d'observations, prennent ces affirmations pour des rêves[35]. »

Si, en 1725, Cassini II était prêt à envisager des parcours de comètes autour du Soleil, il n'était pas prêt à accepter les comètes rétrogrades comme argument contre les tourbillons. Cassini II fit l'hypothèse que de telles comètes étaient en réalité en orbite autour d'autres étoiles. Ainsi, la comète de 1737, qui semblait être en orbite autour de la Terre, était peut-être en orbite autour d'une planète plus éloignée que Saturne. C'est ainsi que les 39 comètes que Cassini comptait comme ayant été observées depuis 1472 pouvaient en réalité avoir un mouvement direct, dans la même direction que le tourbillon solaire. « Cette direction du mouvement est une loi invariable de la nature », déclarait-il en 1731[36]. Fontenelle renchérit :

> Faire bouger tous les corps célestes dans le vide afin de se débarrasser de la difficulté des mouvements des comètes est un expédient lui-même sujet à de terribles difficultés[37].

Même les fidèles disciples de la mécanique céleste de Newton, comme Bouguer, utilisaient encore les méthodes rectilinéaires pour expliquer les apparitions des comètes dans les années 1730[38]. Il était donc tout à fait possible pour Cassini III de déclarer, en 1759, que l'évolution de l'étude des comètes en France pendant les soixante dernières années témoignait du développement continu des théories du mouvement qui non seulement utilisaient la méthode historique

de la prédiction des passages, mais en outre en étaient arrivées à accepter le fait que les comètes étaient en orbite autour du Soleil. Cassini ajoutait que tout cela avait constitué la méthode de bon sens adoptée par l'Observatoire sans nul besoin d'avoir recours à la mécanique céleste newtonienne. Avec cette version de l'histoire de la cométographie telle qu'elle avait été menée au cœur des institutions astronomiques françaises, de sérieux obstacles restaient à franchir avant que Lalande et ses collègues puissent présenter cette histoire comme l'établissement triomphal de la mécanique céleste newtonienne.

Delisle et les astronomes parisiens

La propagande de 1759 était elle-même une conséquence de la constitution de la communauté astronomique de Paris, caractérisée par les contacts établis très tôt avec l'Angleterre et par le transfert de techniques et d'attitudes de l'Angleterre vers la France par des savants anglophiles. La dissémination de techniques newtoniennes en France pendant la première moitié du XVIII^{e} siècle a été analysée par Brunet et Metzger, et plus récemment par Hall, Guerlac et Greenberg[39]. La plupart de leurs travaux ont mis en évidence l'importance du fait que les théories optiques de Newton et les débats sur la forme de la Terre ont été très tôt connus. Cela explique peut-être pourquoi on sait moins comment la mécanique céleste s'est développée malgré l'opposition de l'Observatoire et de Fontenelle.

Le plus souvent, l'interprétation traditionnelle du rôle de Maupertuis et de ses alliés, notamment le jeune Clairaut, dans les expéditions en Laponie et au Pérou, a concentré l'attention sur les problèmes de géodésie et de gravitation terrestre[40]. Or les contacts

précoces avec l'Angleterre pour l'étude des comètes et de la Lune ont joué un rôle tout aussi important, et ont permis que les textes de Halley sur les comètes soient publiés en France. Les liens avec Londres, et les visites des savants outre-Manche, furent essentiels. À cet égard, le cas de Maupertuis est exemplaire et non unique. Il publia un article sur le calcul différentiel dans les *Mémoires* de 1726, où apparaît la valeur de son apprentissage chez Guisnée, lui-même élève de Varignon. En 1728, alors qu'il semble être « déjà newtonien », Maupertuis rendit visite à Maclaurin et à Pemberton à Londres pour discuter des applications du calcul analytique en mécanique. L'une des conséquences de ces contacts précoces avec la Grande-Bretagne fut l'apparition des textes fondamentaux des années 1732-1733, ainsi que les comptes rendus anonymes parus dans l'important *Journal historique*, qui marquèrent le début de la campagne contre le programme géodésique des Cassini. Pendant les années 1740, Maupertuis publia de nombreuses analyses du mouvement des comètes et de leur fonction cosmologique, qui témoignaient d'une compréhension approfondie d'un type particulier de cométographie souvent développé par l'astronomie britannique[41].

Maupertuis n'était pas seul dans cette recherche, et avec ce degré d'investissement. Dans les années 1740, notamment, le professeur de Lalande, Le Monnier, travailla sans succès à la diffusion de la cométographie anglaise et de la mécanique céleste. Clairaut envoya à Euler des copies des observations finales de la comète de l'hiver 1743-1744 faites par Le Monnier, tout en prévenant Euler du caractère rudimentaire de la théorie des comètes en termes de techniques de calcul[42]. Le Monnier importa les instruments de mesure des transits de Graham en 1741, et fit paraître des éditions des *Institutions of Astronomy* (1746) de John Keill et du *Synopsis*

(1743) de Halley. En 1748, il se rendit à Londres puis en Écosse pour observer une éclipse solaire avec Short et Macclesfield. Dans son « Éloge » de Le Monnier, Lalande évoque avec aigreur l'hostilité invétérée de son professeur pour Lacaille et Delisle, et Lalande raconte que Le Monnier coupa tout contact avec lui, Lalande, lorsqu'il alla travailler avec Delisle à Paris. Lalande mentionne cependant les tout premiers travaux de Le Monnier, qui voulait « dissiper les préjugés sur les comètes qui régnaient encore en France[43] », même si les effets de ces travaux furent diminués par les controverses entre Le Monnier et ses collègues, et par son obstination à dénoncer l'incomplétude et l'imprécision des tables de Halley[44].

Quelques décennies auparavant, le chevalier de Louville avait rencontré des problèmes similaires. Louville était un allié de Delisle, pour qui il construisait des instruments. Delisle et Louville furent élus membres de l'Académie la même année, le premier en tant qu'étudiant, le second en tant qu'astronome associé. En 1715, Louville fit partie d'une délégation stratégique envoyée à Londres, assista aux expériences optiques de Desaguliers et rendit visite à Halley ; ce fut une visite cruciale pour le développement de la théorie newtonienne, puisqu'elle permit la diffusion de la théorie optique en France. Louville fut aussi le premier académicien à imprimer un mémoire sur la mécanique céleste de Newton, en 1720, même si, comme l'a noté Hall, il jugea nécessaire d'attribuer les idées de l'astronome anglais au génie créateur du seul Kepler. Guerlac a par ailleurs suggéré que Louville était le « chevalier » anonyme qui cautionna la cométographie de Halley dès 1718[45].

Collègue de Louville et grand rival de Le Monnier, Joseph-Nicolas Delisle fut le principal défenseur de ce type de cométographie. En 1759, il était en position de réécrire l'histoire de

ce programme de recherche, et d'assurer ainsi son triomphe. Comme Louville, Le Monnier et Maupertuis, Delisle fut rapidement et fréquemment en contact avec les Anglais, et, tout comme eux, il fit un voyage outre-Manche à un moment décisif de sa carrière. Delisle se consacra à l'astronomie après l'observation d'une éclipse solaire à Paris en 1706, lorsqu'il avait dix-huit ans. Dès 1712, il avait établi son propre observatoire au palais du Luxembourg et, suite à son élection à l'Académie, il fut nommé professeur au Collège royal en 1718, où il donna des conférences sur le système du monde, succédant ainsi à La Hire. Son programme de recherche avant son départ de Paris pour Saint-Pétersbourg pendant l'été 1725 était caractérisé par son investissement dans la constitution de tables astronomiques dans lesquelles la mécanique céleste de Newton serait directement comparée aux meilleures observations existantes[46]. Pendant ces années-là, Delisle s'efforça donc de collecter de telles informations issues d'astronomes de toute l'Europe, afin de garder un contact étroit avec les Anglais, et notamment Halley, et de diffuser ces tables auprès de ses correspondants. Le réseau que Delisle développa fut extrêmement important dans la construction d'une communauté astronomique à l'échelle européenne, communauté qui allait bientôt s'intéresser essentiellement, comme Delisle, à la mécanique céleste et à la cométographie. Ce projet constitue donc la clef pour comprendre les événements de 1759, lorsque Delisle et ses collègues Lalande, Clairaut et Messier contrôlèrent les comptes rendus de l'Académie.

Les premiers travaux de Delisle pour ce programme de recherche semblent avoir commencé après le voyage de Louville à Londres en 1715. Peu après, Louville rapporta à Delisle des informations sur les projets et les activités de Halley qui achevait la révision de ses tables astronomiques incluant en 1717 une nouvelle version du

Synopsis. En outre, Delisle lut attentivement la deuxième édition des *Principia* (1713), et Louville lui donna une copie des « Éphémérides perpétuels des mouvements de la Lune dans la même position par rapport au Soleil[47] ». C'est ainsi que, pendant l'été 1716, Delisle travailla d'arrache-pied pour achever sa propre version d'une théorie lunaire et solaire tirée de cette édition des *Principia*. Il déclara qu'il était persuadé de la nécessité des « hypothèses physiques » pour l'astronomie, et peu convaincu par la stratégie britannique de propagation de la mécanique céleste newtonienne, dans la mesure où ces savants ne cherchaient pas à faire coïncider la théorie avec les observations, « ce qui fait que nos astronomes n'ont pas non plus pris la peine de la tester ». Delisle décida donc de calculer préalablement les tables lunaires et solaires « en utilisant uniquement les conclusions que M. Newton fit à partir des observations faites selon sa théorie de la gravité ». Il les acheva au début de l'année 1717[48].

Il entreprit en outre de contester l'idée couramment acceptée en France selon laquelle les distorsions optiques observées autour des planètes étaient causées par leur atmosphère, et défendit l'hypothèse, fondée sur l'optique de Newton, que les distorsions étaient des effets de la diffraction.

> Cette explication me semble très utile pour le perfectionnement des observations astronomiques et pour nous rendre plus prudents dans l'utilisation que nous faisons de ces observations pour établir les hypothèses astronomiques.[49]

La principale hypothèse qu'il souhaitait défendre était celle présentée dans les *Principia* et développée par Halley, et pour

laquelle il chercha vigoureusement des appuis du gouvernement, notamment auprès de Bignon et du duc d'Orléans. En février 1717, il informa Teinturier du fait que le duc avait accepté de subventionner sa campagne, et qu'il avait achevé non sans mal ses tables astronomiques. Au mois d'avril, Delisle fit également appel à Réaumur, figure influente à l'Académie, et qui n'avait pas d'alliance avec le camp Cassini – ce qui n'était pas sans importance. Préfigurant la manière dont Maupertuis fit appel au gouvernement pour l'expédition en Laponie en contournant l'Observatoire, Delisle mit Bignon et Réaumur de son côté en leur envoyant des copies de ses tables et ses commentaires sur les vertus de la mécanique céleste britannique[50].

> Ce sont de simples tables calculées selon les déterminations de Newton. Il est vrai que j'ai eu besoin d'étudier sa théorie, qui est assez difficile, mais, après tout, je n'ai fait que le suivre.

Une fois assuré de ce soutien, Delisle assura Bignon que son programme astronomique allait donner de fructueux résultats[51].

Delisle fut récompensé en se voyant attribuer la chaire d'astronomie du Collège royal suite à la mort de La Hire en 1718. Il prit immédiatement contact avec Halley et Newton à Londres, et ouvrit le feu contre Cassini II, dont le pouvoir s'exerçait sur l'Observatoire. Il demanda à des correspondants tels que l'officier Chardeloup et le professeur d'astronomie Rast, de Königsberg, qui étaient venus à Londres pour rencontrer Halley, de vérifier s'il avait publié des observations sur l'éclipse de 1715, et de voir « où en est sa table des mouvements apparents de la Lune et ce qu'on peut attendre d'autre du travail de cet astronome infatigable[52] ». Rast

répondit à Delisle que Halley avait désormais achevé et imprimé ses tables astronomiques incluant une nouvelle version du *Synopsis*. Delisle ne proposa pas d'éliminer ses propres tables, mais attendit impatiemment de voir celles de Halley[53]. Antonio Conti entendit également parler de ces tables par l'intermédiaire de Pierre Des Maizeaux en 1720, qui déclarait : elles « offrent une très belle démonstration des principes de M. Newton », notamment ceux concernant les comètes. Des Maizeaux fit écho à l'argument de Delisle selon lequel il était désormais plus important d'étudier la valeur astronomique de ces données que de se complaire en des

> spéculations métaphysiques et se perdre dans la recherche des causes ou de la nature de cette attraction, qui sera peut-être toujours inconnue, alors qu'il s'agit surtout de ses effets, qui sont visibles et palpables.

Delisle comme Des Maizeaux considéraient leur campagne comme une rude lutte contre « la force du préjugé et de l'habitude[54] ». Mais ce n'est pas l'essai extrêmement prudent de Louville sur la mécanique céleste ni le manuscrit de Delisle sur la géodésie d'avril 1720 – une série de mémoires explicites mais privés adressés à Bignon afin d'obtenir son soutien pour une étude qui remplacerait celle de l'Observatoire – qui pouvaient gagner le combat[55] au moment où l'Observatoire et l'Académie demeuraient sous le contrôle de ceux que Delisle considérait comme ses principaux rivaux. Dès l'automne 1721, en réalité, Delisle songeait déjà à un voyage à Saint-Pétersbourg, et écrivait au médecin en chef de la tsarine ses projets pour un poste en Russie, où il pourrait rejoindre Bernoulli, Euler et Hermann[56].

Pendant les années 1720, cependant, Delisle resta en Europe occidentale et travailla activement à la diffusion de la version britannique de la mécanique céleste. Il expliqua à l'astronome hollandais Nicolas Struyk que Halley était « aussi grand Géomètre qu'Astronome[57] ». Struyk répondit qu'il était alors (c'était le printemps 1722) occupé à corriger les erreurs les plus spectaculaires dans la section des *Principia* consacrée aux comètes, car son collègue's Gravesande était sur le point d'imprimer une nouvelle édition du grand œuvre. Struyk parla aussi à Delisle du reproche fréquent selon lequel la version originale du *Synopsis* ne contenait aucune indication des méthodes arithmétiques utilisées pour calculer les éléments du parcours parabolique. Struyk et Delisle espéraient tous deux que la version de 1717 serait meilleure[58]. Struyk lui-même travailla longuement sur ce problème et au printemps 1749 imprima une table élargie de dix-huit éléments supplémentaires à ajouter à ceux du *Synopsis*. Le vaste réseau développé par Delisle, incluant notamment les jésuites astronomes de Pékin et d'ailleurs, fut particulièrement utile à ce travail. C'est aussi le besoin qu'avait Delisle de connaître les nouveaux travaux de Halley et les observations menées par de nombreux astronomes pendant le transit de Mercure de 1723 qui précipitèrent sa décision d'aller à Londres à l'été 1724[59]. Ce voyage fut décisif pour son programme astronomique personnel, et plus généralement pour l'étude des comètes.

Les attentes de Delisle et de ses correspondants comme Struyk et Rast à l'égard des nouvelles tables de Halley, ainsi que le relatif manque d'influence de la cométographie britannique pendant les deux premières décennies suivant la parution du *Synopsis*, témoignent à l'évidence des insuffisances de la version initiale du travail de Halley. Ainsi, rien ne montre que les prédictions faites par

Halley du passage de comètes aient suscité une quelconque attention à cette époque. C'est d'autant plus frappant que, comme on l'a vu, les astronomes de l'Observatoire prenaient très au sérieux ces prédictions, et que, pour des astronomes comme Keill, Taylor, Montmort et Des Maizeaux, la cométographie constituait un moyen essentiel de l'établissement de l'astronomie newtonienne. En outre, le consternant manque de détails dans la présentation par Halley de ses propres techniques rendait encore plus difficile l'appréhension de l'astronomie newtonienne. L'excellence des nouveaux instruments produits par Graham et ses collègues dans les ateliers londoniens eut aussi son importance ; ces instruments reflétaient nombre des nouvelles techniques astronomiques, et leur disponibilité en France allait représenter une avance décisive pour la mécanique céleste newtonienne. Cette astronomie posait bien une série de problèmes pour les Français, et supposait notamment une théorie lunaire adéquate et l'observation systématique d'événements comme le transit de Mercure. En 1717, Delisle nota que

> depuis que Newton a remarqué plus d'irrégularités dans les mouvements de la Lune que ne l'ont accepté d'autres astronomes, et qu'il a attribué ces irrégularités à des causes physiques, un tel calcul se révèle être très long et très compliqué[60].

Quand il entra en relation directe avec Newton et Halley au printemps 1724, Delisle les impressionna aussitôt par la précision de ses calculs et mesures, et fut rapidement élu Fellow de la Royal Society. Newton le félicita ainsi en avril 1724 : « Vos propres mérites […] m'ont poussé à soutenir votre élection dans notre institution[61]. » En juin 1724, après avoir envoyé de nouvelles

observations de l'éclipse totale du Soleil, Delisle annonça son intention de se rendre à Londres. Il quitta la France à la fin du mois d'août[62].

Delisle et les astronomes anglais

Pendant son séjour à Londres, Delisle rendit visite aux principaux astronomes et fabricants d'instruments. Il rencontra Pound et Bradley, à qui il donna des exemplaires de ses observations du transit de Mercure. Il se rendit dans les boutiques de Hadley et de Senex, où il acheta un excellent planisphère. Il demanda à Halley de lui envoyer des copies de toutes les observations de Rooke et de Towneley, ainsi que la dernière version de l'*Historia coelestis* de Flamsteed. Il put en outre faire connaître à Halley les résultats de son réseau astronomique, dont les observations d'éclipses faites par Louville, Laval, Kirch et beaucoup d'autres en Allemagne et en Italie. Surtout, Delisle établit des connexions avec le libraire de la Royal Society, Innys, qui joua le rôle d'intermédiaire entre lui et les Français. Delisle fit envoyer des copies des *Mémoires* à Halley et à Newton, promit de distribuer un exemplaire de la *Nouvelle mécanique* de Varignon, et comptait envoyer aux Français les tables de Halley dès qu'elles seraient prêtes[63].

Sa visite eut pour principale conséquence de promouvoir les travaux de Halley et de Varignon. Ce dernier avait enseigné la physique mathématique au Collège royal jusqu'à sa mort en 1722. Après 1713, par l'intermédiaire de De Moivre, Varignon avait établi des liens étroits avec Newton et, comme Delisle, fut nommé, directement par Newton, membre de la Royal Society. Cette correspondance constitue un document important sur les liens entre

l'Angleterre et la France dans les domaines des mathématiques et de l'optique, et, comme l'a suggéré Guerlac, Varignon joua un rôle essentiel dans la publication d'une édition parisienne de l'*Optique* en 1722[64]. Ensuite, lors de son séjour à Londres en 1724, Delisle suggéra la publication conjointe par les Anglais et les Français d'une édition de la correspondance Varignon-Newton. C'était une proposition audacieuse mais bien choisie. Fontenelle prit part au projet du côté français, et Newton dit à Delisle qu'il lui faisait confiance, ainsi qu'à Fontenelle, pour « publier ce qu'il jugeait pertinent[65] ». C'est aussi à l'initiative de Delisle que le libraire parisien Claude Jombert envoya les *Mémoires* et les travaux de Varignon à Newton et lui offrit ses services afin d'imprimer d'autres textes « qui [lui] avaient valu l'admiration de l'Europe[66] ».

Les discussions de Delisle avec Halley furent également fructueuses pour le développement des échanges avec les astronomes anglais. D'après Louville, le bruit avait couru que Halley lui-même allait venir à Paris en mai 1724. Delisle corrigea lui-même cette rumeur et manifesta son admiration pour l'accueil qui lui avait été réservé en Angleterre : « Toute ma vie, dit-il à Newton, je garderai le souvenir de l'accueil favorable que vous m'avez réservé quand j'ai eu l'honneur de vous voir à Londres[67]. » À son retour à Paris en octobre 1724, Delisle se lança activement dans la diffusion des travaux de Halley et de ses collègues. Il reçut des observations de l'importante comète de 1723 faites par les astronomes jésuites à Pékin, et les envoya immédiatement à Halley avec le commentaire suivant :

> Vous n'aurez aucun mal à les faire coïncider avec le parcours que M. Bradley a tracé de cette comète, suivant ses propres observations. J'attends impatiemment cette occasion de

> permettre à la théorie de M. Newton de vaincre les préjugés de ce pays[68].

Dans le mois suivant son retour d'Angleterre, Delisle défendit la supériorité du travail de Halley et de Bradley, « un jeune professeur d'astronomie à Oxford qui laisse espérer qu'il remportera de grands succès en astronomie un jour[69] ».

Il expliqua au professeur d'astronomie d'Ingolstadt les immenses vertus de la mécanique céleste anglaise. Les tables de Cassini n'étaient rien d'autre qu'un « grand mystère », et celles du prédécesseur de Delisle, La Hire, construites sur une base purement empirique, ne valaient rien. Delisle décrivit ses propres tentatives comme étant

> meilleures que toutes celles qui ont paru jusqu'ici […]. J'ai également pris soin de construire mes tables sur une théorie régulière et uniforme, aussi géométrique que physique, qui est celle des Anglais.

Delisle déclara qu'il était allé en Angleterre afin de se rendre compte par lui-même de l'avancement des tables de Halley et qu'après les avoir vues en cours d'impression il avait désormais abandonné l'effort d'imprimer ses tables de 1716, puisque celles de Halley, qui incluaient des tables des lunes de Jupiter et de Saturne ainsi qu'une version révisée du *Synopsis*, étaient « exactement telles que je l'avais espéré[70] ». Innys lui fit parvenir un exemplaire définitif de ces tables en décembre 1724, que Delisle s'efforça de diffuser et de défendre contre les tables concurrentes. Il écrivit à Innys qu'il avait réussi à dissuader les libraires parisiens de rééditer les tables de La Hire, afin de ne pas réduire les ventes de celles de

Halley. Jombert, par exemple, commanda plusieurs exemplaires de ces précieux textes. La défense des tables de Halley par Delisle était élogieuse : il expliqua à Nicasius que

> les tables de M. Halley représentent très exactement les observations, et peut-être aussi exactement qu'il est possible de le faire à l'heure actuelle sans faire de nouvelles découvertes ou sans admettre de nouvelles hypothèses, et par là vous pourrez juger quel avantage l'astronomie pourrait tirer de la publication de ces tables, qui donneront aux astronomes les moyens de faire ces nouvelles découvertes[71].

Ainsi, pendant l'hiver et le printemps 1724-1725, Delisle avait à sa disposition à Paris les textes essentiels venus d'Angleterre qu'il avait cherchés, ainsi que des contacts suivis avec Newton, Halley et De Moivre au sujet de la correspondance de Varignon et des tables astronomiques des planètes, des satellites et des comètes. Il contesta vivement les opinions des astronomes comme le Danois Horrebow qui défendait encore, avec les théoriciens de l'Observatoire, l'hypothèse des tourbillons[72]. Delisle s'appliqua à dégonfler quelque peu les prétentions de Horrebow qui proclamait que son *Clavis astronomiae* utilisait des « causes physico-mathématiques » pour démontrer la « vérité et la nature des tourbillons ». À partir de février 1725, Delisle était fin prêt à démarrer un nouveau programme de recherche sur les mouvements de la Lune, des planètes et des comètes, qui mettrait à profit le statut emblématique des tables de Halley afin de convertir quelques disciples à la mécanique céleste anglaise. Mais avant la fin de l'année 1725, Delisle fut envoyé à Saint-Pétersbourg, et tous ses projets furent interrompus[73].

L’exil russe

Le séjour de Delisle en Russie a généralement été interprété comme l’exil volontaire et confortable d’un newtonien français mécontent[74]. Pourtant, il n’existe aucun élément permettant de dire que Delisle était heureux de quitter Paris, et il fut toujours impatient de rentrer. Le développement de la mécanique céleste et de la cométographie à Paris fut bien sûr largement compromis par son absence. La principale ressource, le *Synopsis* de Halley et ses tables, n’était que peu diffusée en France, malgré les remarquables efforts de Delisle en 1724-1725, ce qui explique que Delambre dira beaucoup plus tard que, dans les années 1740, les méthodes de Halley étaient presque totalement inconnues[75]. Les principaux débats des années 1730 tournaient autour de la géodésie, et non de la cométographie ; en outre, les traités de Le Monnier et de Chéseaux rédigés à l’occasion des comètes de 1742-1744, ainsi que la nouvelle édition française de Halley, ne produisirent que peu de réactions. Ce n’est donc qu’après le retour de Delisle à Paris pendant l’été 1747 qu’on s’intéressa à nouveau de près à la cométographie de Halley. Ce fut notamment le cas de Clairaut, de Delisle lui-même, et d’autres commentateurs de l’édition latine par Bevis des tables de Halley, qui fut finalement publiée en 1749. On verra quel fut le rôle essentiel de Delisle dans la réception française de Bevis, et dans sa publication décisive, la même année, des *Lettres sur les tables astronomiques de M. Halley*[76].

Pourtant, pendant son séjour en Russie, Delisle tenta de développer le programme en mécanique céleste et en cométographie qu’il avait établi à Paris entre 1717 et 1724. Il supervisa la construction de l’observatoire à l’Académie de Saint-Pétersbourg, coordonna les observations des éclipses et des transits avec des

observateurs en Allemagne et en Russie, et organisa une série de conférences régulières sur la mécanique céleste à l'Académie. Ainsi, en mars 1728, il discuta en public avec Daniel Bernoulli des rapports entre l'astronomie d'observation et les preuves du mouvement de la Terre. Delisle expliqua les problèmes de l'observation de la parallaxe et rassura son public au sujet des propriétés théologiques du système héliocentrique : « L'Écriture elle-même nous apprend que Dieu offrit le monde aux hommes comme sujet de disputes[77]. » Il leur rappela également l'importance des découvertes astronomiques des Anglais. Comme Boss l'a montré, Delisle joua un rôle essentiel dans le fait que les Russes déployèrent de (vains) efforts pour égaler les expéditions françaises dont le but était de déterminer la forme de la Terre pendant les années 1730. Boss note également que Delisle « semble avoir perdu sa confiance dans les tourbillons particulièrement tôt[78] ». En fait, il apparaît clairement que Delisle ne donna jamais foi à de telles conceptions de la théorie et de la pratique astronomiques. Il annonça à l'Académie que Halley avait réduit à néant les déclarations faites par Cassini I^{er} sur l'observation de la parallaxe, ajoutant : « C'est un droit de réponse que les astronomes anglais ont sur les Français[79]. »

Malgré ces exercices de campagne au profit de la mécanique céleste anglaise, Delisle n'était en aucune manière en sécurité, ni très bienvenu, à Saint-Pétersbourg. Il est faux d'affirmer, comme un récent historien l'a fait, qu'en Russie Delisle « eut accès à toute la place et à tout l'argent dont il avait besoin pour ses recherches[80] ». La première mission de Delisle en Russie fut bien plutôt celle d'un expert informateur pour l'État français. La majeure partie de son travail en Russie fut consacrée à de vastes études topographiques de l'Empire, qui faisaient appel à la cartographie, à la géodésie et à l'histoire naturelle. Delisle était le fils d'un géographe, et il engagea

son frère Louis dans une série d'expéditions dans le Nord, travail qui permit d'achever le grand Atlas russe en 1745[81].

De retour à Paris, les lettres envoyées par Delisle peu après son voyage à Saint-Pétersbourg témoignent de ses difficultés pour réconcilier les projets liés à ses études topographiques et à ses projets astronomiques. En mai 1729, il se plaignit auprès du ministre de la Marine Maurepas des difficultés qu'il rencontrait pour se procurer les instruments nécessaires à ses observations. En janvier 1730, Delisle n'avait toujours rien reçu des instructions détaillées qu'il devait recevoir de France. Il avait déjà dû faire face à plusieurs conflits sérieux avec le chancelier académique Schumacher, qui allait ensuite mener une véritable campagne d'opposition contre Delisle. Puis Delisle apprit que Maraldi, astronome en chef à l'Académie de Paris, était mort. Delisle avait toujours brigué ce poste et il avait même suggéré à son allié Louville que ce dernier devrait devenir académicien honoraire afin que Delisle lui-même puisse devenir académicien pensionnaire. Il fut furieux d'apprendre que Maurepas et Bignon avaient dissuadé l'Académie de lui donner le poste de Maraldi, sous prétexte qu'il était en Russie. Delisle expliqua à Bignon qu'il était allé en Russie sur ordre du gouvernement et à la condition qu'il ne resterait pas plus de quatre ans. Il rappela à Bignon qu'il n'était en Russie que pour assurer les intérêts du gouvernement français et que le gouvernement avait promis de garder sa place au Collège royal et de payer le reste de son salaire à sa famille.

> Maintenant qu'un poste d'astronome s'est libéré à l'Académie en raison de la mort de M. Maraldi, il n'est plus utile que je reste dans ce pays au-delà des quatre années de mon engagement[82].

C'était d'autant plus vrai que Delisle déclara qu'il avait eu beaucoup de mal à passer de son programme en astronomie à celui que les Français réclamaient. Bignon répondit avec tact que Maraldi avait en fait été remplacé par Jacques Lieutaud, âgé de soixante-dix ans, qui allait sans doute mourir d'ici à trois années, puis il rappela à Delisle qu'il lui restait encore trois ans de contrat en Russie. Lieutaud mourut en 1733, mais Delisle ne revint pas[83].

Delisle reçut plusieurs ordres lui enjoignant de rester en Russie, et il y resta tant bien que mal jusqu'en 1747. Ainsi, quand il alla en Sibérie pour observer le transit de Mercure en mai 1740, Schumacher et d'autres attaquèrent violemment son travail. En avril 1743, Struve dit à Euler qui se trouvait à Berlin que Delisle pensait qu'Euler essayait d'attirer à Berlin des astronomes de Russie. Euler réfuta l'accusation, mais en septembre, après l'établissement d'un comité pour réformer l'Académie de Saint-Pétersbourg, Delisle essayait toujours de partir. Schumacher l'attaqua parce qu'il avait communiqué des observations astronomiques à des observateurs étrangers, et Delisle ne reçut plus aucun salaire à partir de 1742. Ses efforts pour quitter le pays étaient ambigus, et ses relations avec ses correspondants irrégulières[84]. En février 1744, Euler déclara à Delisle qu'il serait ravi qu'il vienne à Berlin de Saint-Pétersbourg pour l'aider à y rétablir l'observatoire, pour lequel les Prussiens avaient fait venir « d'excellents instruments d'Angleterre ». Mais Euler jugeait peu probable que Delisle soit libéré de ses charges :

> Sous vos ordres, expliqua-t-il, l'observatoire de Saint-Pétersbourg a acquis une telle réputation que l'on ne doit pas s'attendre à ce que vous ayez la permission de partir, jusqu'à ce que votre poste soit assuré par un successeur de valeur, ce

> qui sera une tâche difficile et peut-être tout à fait impossible[85].

Pendant cette période, Delisle prit soin de limiter la diffusion de ses plus importantes observations, notamment celles des comètes de 1742 et 1744. Il demanda à Euler de ne montrer ces observations à personne « jusqu'à ce que je les aie corrigées et calculées plus exactement, et jusqu'à ce que j'en aie tiré les conséquences qui peuvent en être déduites[86] ». Euler acquiesça : « Je vous promets de bonne foi que je ne révélerai vos observations à personne et surtout pas à ceux contre lesquels vous m'avez mis en garde », ces derniers étant les collègues de Delisle à Saint-Pétersbourg, dont l'astronome allemand Heinsius, avec qui Delisle s'était brouillé au moins trois ans auparavant[87]. Ses contacts avec Paris étaient également peu fiables, en partie à cause de ses difficultés avec le ministère, et en partie, comme il s'en plaignit auprès d'Euler à l'été 1742, parce qu'il dépendait de sa sœur pour obtenir des informations (par exemple au sujet des travaux de Clairaut sur la théorie de l'aberration de Bradley), et que sa sœur « ne comprenait pas du tout ces questions[88] ». De fait, lorsque Delisle quitta Saint-Pétersbourg à l'été 1747, le président de l'Académie Razumovsky interdit à tous les académiciens de communiquer d'aucune manière avec le personnage controversé qu'était devenu Delisle. Parce que cette interdiction touchait également Euler, elle bloqua totalement le bon fonctionnement du réseau de communication de Delisle[89].

Il est donc caricatural de décrire le séjour de Delisle en Russie comme un triomphe en termes de statut et de mécénat, ou comme une propagande victorieuse pour la mécanique céleste newtonienne. Ce fut plutôt à peine plus qu'une mission d'espionnage ratée pour le compte du gouvernement français, et une suite de luttes amères

avec les autorités de Saint-Pétersbourg pour établir un programme autonome en astronomie. Même dans ces conditions, Delisle réussit à tirer des bénéfices de cet échec, notamment en initiant un échange avec Euler et, indirectement, avec Clairaut, après l'apparition de la comète en 1742. Ces échanges firent la preuve qu'un consensus en mécanique céleste, du moins selon les vues d'Euler et de ses collègues à Berlin, n'incluait en aucune manière les travaux et les techniques de Halley. En revanche, Delisle ne cessa de clarifier, de développer et d'améliorer ce qu'il considérait comme une orthodoxie newtonienne – entreprise qui eut des conséquences considérables pour la suite de la théorie des comètes, dans la mesure où elle provenait directement de la recherche des causes de la perturbation du parcours des comètes, et d'une amélioration sensible des méthodes pour les calculer.

Delisle et Euler dans les années 1740

Les comètes de 1742 et 1744 suscitèrent de nombreux débats dans le domaine de la cométographie à travers l'Europe. Le *Traité de la comète* de Chéseaux et *La Théorie des comètes* de Le Monnier font partie des textes produits à cette occasion. Pendant l'été 1742, Delisle envoya à Euler et Bevis les observations de la comète qui était apparue à Saint-Pétersbourg en février et mars de cette année. Il utilisa l'*Atlas* de Flamsteed, commandé en Angleterre, afin de calculer la longitude et la latitude, et dit à Euler qu'il avait essayé la méthode rectilinéaire basée sur trois observations rapprochées que Bouguer avait proposée en 1733. Cependant, Delisle ne fut pas du tout satisfait de cette méthode, même si elle permettait de

construire un modèle valant pour les dix-neuf jours pendant lesquels la comète était visible.

> Puisque cette théorie ne peut être vraie, écrit-il, j'ai entrepris de chercher la véritable trajectoire de cette comète en suivant la méthode et les principes de M. Newton.

Cependant, Delisle se rendit bientôt compte que les textes de Halley et de Newton ne contenaient pas suffisamment d'informations pour lui permettre d'achever aisément ses calculs. C'est pourquoi Delisle demanda à Euler s'il pouvait

> trouver le moyen de résoudre ce problème plus facilement, en utilisant ou bien un plus grand nombre d'observations, ou bien des observations faites dans des conditions particulièrement favorables[90].

Doté de cette nouvelle méthode, Delisle serait capable d'expliquer les comètes dont le *Synopsis* ne rendait pas compte, et de prévoir leur passage,

> ce que nous n'avons pas été capables de faire avec autant de certitude que lorsque nous avons prévu le passage et l'apparence des planètes lorsqu'elles sont sorties des rayons solaires.

À cette occasion, Delisle réclama également des nouvelles de Clairaut et des expéditions au Pérou et en Laponie. Il désirait savoir si des astronomes français avaient travaillé sur la comète[91].

Euler répondit rapidement qu'il n'avait pas eu beaucoup de nouvelles de Paris ou de Clairaut. Il souligna avec gratitude que les observations de Delisle étaient les seules, parmi celles qu'il avait reçues, qui pouvaient servir à calculer le parcours de la comète. Toutes les observations disponibles en Allemagne étaient inutilisables. Et surtout, Euler envoya à Delisle les rudiments d'une méthode qu'il allait présenter à l'Académie de Berlin en septembre 1742, qui lui permettait d'obtenir à la fois une approximation du parcours de la comète à partir de trois observations, et un théorème qui donnât la durée du mouvement sur une orbite parabolique en termes de deux rayons vecteurs et de la ligne qui les reliait[92]. À partir de là s'ensuivit immédiatement une dispute amère entre Heinsius et Schumacher à l'Académie. Delisle présenta la méthode d'Euler et ses propres travaux à l'Académie de Saint-Pétersbourg lors de deux sessions en août 1742 et mai 1743. Heinsius semble avoir utilisé les travaux qui y furent présentés pour concevoir sa propre machine de calcul graphique du véritable parcours. Schumacher accusa alors Delisle d'avoir rapporté sans sa permission ses travaux à des savants étrangers avant de les avoir présentés à ses collègues en Russie, et à l'automne 1743 il cessa de payer le salaire de Delisle[93].

Malgré ces disputes, Delisle poursuivit son effort d'amélioration de la méthode d'étude des comètes, tout en se mettant délibérément, ainsi que les ressources de son observatoire, à l'écart des autres astronomes de Saint-Pétersbourg. La querelle précipita le départ de Georg Krafft pour Tübingen et d'Heinsius pour Leipzig, en 1744 dans les deux cas. Delisle déclara à Euler qu'il avait lui-même continué à « observer le ciel presque toujours quand il est clair pour voir si quelque chose de nouveau apparaît[94] ». En janvier 1744, cette abnégation porta ses fruits. Euler écrivit à Delisle pour le

prévenir qu'une grosse comète était visible de Berlin depuis le 3 janvier, avec un éclat comparable à celui d'une étoile de magnitude 3. La comète allait atteindre son périhélie, et Euler espérait beaucoup des observations de Delisle quand elle serait à nouveau visible :

> Espérons que les astronomes, et surtout vous, Monsieur, allez l'observer avec attention ; et qu'il leur sera possible de le faire ; puisque je peux me flatter d'avoir porté la méthode de calcul à un tel point de perfection que je peux déterminer son orbite par ce moyen, du moment que j'ai quatre bonnes observations[95].

Delisle répondit à la requête d'Euler le 3 mars. Il lui envoya des observations d'excellente qualité de la comète, faites à partir de l'Observatoire, et décrivant graphiquement les circonstances de sa première observation : le soir du 16 janvier,

> le serviteur de M. Heinsius, qu'il avait envoyé à la ville, lui dit à son retour qu'il avait remarqué quelque chose d'extraordinaire dans le ciel. Sur ce, M. Heinsius comprit qu'il s'agissait d'une comète et fit en sorte que la découverte soit annoncée dans la Gazette comme ayant été faite par lui à 17 h 45 dans la soirée[96].

Delisle, qui avait attendu que les étoiles soient plus claires, vit la comète plus tard, mais avec plus de précision que son rival. En réalité, Delisle critiquait avec force tous ses collègues, et il souligna qu'Heinsius avait fait une erreur en calculant que la comète allait vers l'écliptique, tout comme il s'était trompé dans son observation

imprimée à Hambourg au sujet de son périhélie. Il nota en outre qu'Euler s'était appuyé sur des observations de mauvaise qualité à Berlin :

> Quel que soit l'état de l'observatoire de Berlin, cela n'empêchait pas de déterminer avec précision le parcours de la comète pendant le mois qu'a duré son apparition.

Delisle conseillait l'usage d'un petit télescope comme celui qu'il utilisait à Saint-Pétersbourg[97].

Delisle explicita ses recommandations pour l'amélioration de l'observation des comètes dans une lettre envoyée à Euler en juillet :

> S'il y avait un plus grand nombre de personnes qui observent le ciel, on découvrirait sans nul doute un plus grand nombre de comètes, qui, quelle que soit leur taille, ne manqueraient pas de contribuer au progrès de l'astronomie ; cette réflexion m'a poussé à construire une sorte de lentille qui, en couvrant un espace de 3 ou 4 degrés dans le ciel, pourrait permettre de parcourir toute l'étendue visible du ciel en très peu de temps[98].

Cette remarque, ainsi que la réponse d'Euler aux observations de Delisle, marque le début d'une nouvelle période de la cométographie. La proposition de Delisle allait aboutir au programme suivi d'observations des comètes de son élève et collaborateur Messier à partir de 1758, alors que les travaux d'Euler menèrent à la transformation des techniques approximatives de Halley en une méthode analytique de calcul du parcours des comètes[99]. Contrairement à Delisle, Euler fut à même de maintenir

des liens directs avec les Français. Alors que Delisle se plaignait auprès d'Euler de ne pas avoir reçu d'observations de Paris, Euler était en contact soutenu avec Clairaut, et recevait de lui les observations faites par Cassini II et par Chéseaux, réunies pour Clairaut par Le Monnier. En avril 1744, Euler envoya à Clairaut la théorie du mouvement des comètes qu'il avait déjà envoyée à Delisle, et Clairaut fit en sorte qu'elle soit lue devant l'Académie[100]. Clairaut et Delisle entendirent tous deux parler de l'achèvement de la grande *Theoria motuum planetarum et cometarum* d'Euler, le premier traitement analytique du mouvement cométaire. Si Clairaut était intrigué par les remarques d'Euler sur les possibles perturbations du mouvement des comètes par les planètes, Delisle s'efforçait plus que jamais d'empêcher les autres astronomes de découvrir la nouvelle technique analytique qu'Euler avait développée pour traiter quatre observations de la comète. Euler identifiait les planètes aux comètes, en les distinguant seulement par leur forme et leurs orbites. Delisle déclara que cette technique résultait entièrement de ses propres suggestions initiales, et qu'il espérait qu'Euler allait désormais généraliser son programme à un plus grand nombre de comètes[101]. Pourtant, Euler et Delisle rencontrèrent rapidement d'importants problèmes dans leurs interprétations respectives de la cométographie.

Ces problèmes concernaient trois questions cruciales de technique et de théorie, qui provenaient toutes de présupposés sur la nature des comètes. Tout d'abord, Delisle déclarait – contre Euler – que l'utilisation par Halley de l'orbite parabolique pour toutes les comètes était une simple approximation et un préliminaire à l'application de la méthode « historique ». En second lieu, Delisle supposait qu'une approche fondée sur les seules observations faites lors d'un passage d'une comète ne suffisait pas à déterminer de

façon définitive la forme d'une orbite. Enfin, il affirmait qu'il était urgent d'améliorer radicalement la qualité et le nombre des observations cométaires effectuées à travers l'Europe. Delisle présenta ces trois points, qui allaient se révéler essentiels pour les travaux de 1758-1759, lors d'une conférence à l'Académie de Saint-Pétersbourg en décembre 1744, elle-même issue d'un mémoire intitulé *Nouvelles considérations sur la théorie des comètes* (qui serait ensuite intégré dans une version développée dans le long commentaire par Delisle des tables de Halley, qui fut publié en France en 1749)[102]. Euler, en revanche, se concentrait sur les perturbations cométaires et, par suite, sur les probables erreurs que pourraient provoquer des passages successifs. Ce travail, comme nous le verrons, fut ensuite intégré dans ses recherches sur la résistance de l'éther dans le ciel. Cette résistance constituait un obstacle pour la cométographie que Delisle, ainsi que ses alliés comme Lalande, s'efforçait de contourner.

La querelle avec Euler débuta en septembre 1744, peu après que Delisle eut reçu des informations sur la nouvelle *Theoria* d'Euler. Delisle demanda à Euler les observations que son collègue à Berlin, l'astronome Johann Wagner, avait faites de la comète de l'hiver 1742-1743[103]. Après une certaine confusion de la part d'Euler sur l'identité de cette comète antérieure, Euler répondit à Delisle que les observations de Wagner, comme celles qu'il avait faites à Berlin en janvier 1744, étaient d'une qualité assez faible en raison de l'état catastrophique de l'observatoire de Berlin. Cependant, Euler n'hésita pas à appliquer sa nouvelle méthode aux données de Wagner, et en déduisit une orbite ayant la forme d'une hyperbole extrêmement divergente. Euler annonça alors à Delisle les conséquences de ce résultat pour le programme de recherche de Halley :

> Ces gentlemen anglais, qui supposent dans leur méthode que les orbites de toutes les comètes sont paraboliques, seraient incapables de découvrir quoi que ce soit. Si la plupart des comètes évoluent le long d'orbites qui se rapprochent beaucoup de paraboles, je ne vois pourtant aucune impossibilité à ce qu'il y en ait qui évoluent selon des hyperboles ou des ellipses très différentes d'une parabole, et je soupçonne que M. Halley s'est très vraisemblablement abusé lui-même au sujet de certaines comètes, qu'il a calculées selon l'hypothèse parabolique[104].

Euler annonça à Delisle que sa nouvelle méthode permettait de conclure avec certitude à partir d'un transit quelle conique était suivie par telle ou telle comète. Il se référa au travail de Johannes Kies, un professeur de mathématiques de Tübingen, qui, en fidèle disciple d'Euler, avait commencé à appliquer cette méthode du transit unique à toutes les comètes du siècle. Pour la comète de l'été 1729 observée par Cassini, Kies trouva une ellipse d'une période d'un peu plus de 12 ans et une distance du périhélie de 3,4 UA. Euler prétendait que grâce aux données d'un second passage d'une telle comète il pourrait calculer son ellipse « aussi bien que dans le cas d'une planète[105] ». Delisle considéra les déclarations d'Euler comme une grossière incompréhension de la stratégie de Halley, et il répondit rapidement afin de corriger ce qu'il considérait comme des erreurs d'Euler.

Le principal souci de Delisle était d'établir que l'hypothèse parabolique était un présupposé nécessaire pour utiliser la méthode historique, et non une hypothèse concernant le parcours réel des comètes. Halley, Newton,

> et ceux qui les suivent, n'utilisent l'hypothèse parabolique que pour une meilleure commodité, sans prétendre qu'ils peuvent déterminer par une unique apparition d'une comète si elle suit la section d'une parabole ou d'une ellipse.

Delisle ajouta deux remarques : premièrement, il nota que Halley leur avait « assuré que personne n'avait jamais vu une comète » qui suivait un parcours hyperbolique et il ajouta que les paroles de Halley devaient être crues, puisqu'elles provenaient « d'un si grand géomètre et astronome[106] » ; en second lieu, il souligna que toutes les observations cométaires disponibles étaient trop incertaines pour permettre de déduire un parcours à partir d'un seul passage. Il était donc tout à fait possible, comme Euler l'avait prétendu pour celle de 1743, que cette comète eût une orbite hyperbolique.

Pourtant, Delisle utilisa cet argument pour contester tous les modèles antérieurs de parcours cométaire. Kies traça un parcours elliptique pour la comète de 1729, alors que Bouguer lui avait donné un tracé hyperbolique ; Kies avait suggéré une période de plus de 12 ans, alors que Cassini II l'avait estimée à 10 ans et Nicasius à 6 ans et demi. Delisle lui-même avait également travaillé sur cette comète, faisant l'hypothèse d'une approximation parabolique, dans la mesure où il croyait nécessaire d'appliquer la véritable approche de Halley. Delisle attribua toute erreur résiduelle venant de cette approximation à des erreurs dans les tables stellaires et dans les observations.

> Je pense que mes calculs démontrent que cette comète a décrit une parabole, ou une courbe qui s'en approchait tant que l'on ne pouvait l'en distinguer par ces seules observations[107].

Delisle montra que le même problème avait troublé le travail d'Euler et de Wagner sur la comète de 1743. Il cita les travaux d'Olof Hjorter et d'Anders Celsius qu'il avait reçus de Suède, qui avaient appliqué un modèle parabolique à cette comète « sans subir une minute d'erreur[108] », et les travaux que Bradley et Halley avaient faits sur la comète de 1723 et sur celles du siècle précédent. Malgré toutes ces preuves tendant à montrer qu'une parabole pouvait toujours être utilisée pour un passage unique, Delisle déclarait désormais :

> J'ai du mal à croire qu'à l'heure actuelle n'importe qui peut démontrer, à partir de l'observation d'un seul passage, que la comète décrit une ellipse ou une hyperbole plutôt qu'une parabole[109].

Dès lors qu'une orbite parabolique avait été construite, la méthode historique pouvait être appliquée.

Euler ne fut que partiellement convaincu par ces arguments. Concernant ces observations particulières, il déclara à Delisle en octobre que Wagner avait découvert des erreurs importantes dans le trajet de la comète de 1743, que Kies reconnaissait désormais que l'orbite de la comète de 1729 était une parabole, et que le modèle initial pour cette comète était faux parce qu'il utilisait des figures insuffisamment précises pour une comète si éloignée du Soleil. Cependant, Euler réitéra son assertion au sujet de la commodité de l'utilisation d'observations issues d'un seul transit, et il renvoya Delisle à la copie de la *Theoria* qu'il venait d'envoyer à Schumacher. Surtout, Euler insista sur le fait que la parabole pouvait être exacte si et seulement si le *latus rectum* de l'orbite était exactement quatre fois supérieur à la distance de périhélie. La comète de 1743 ne

pouvait donc pas être parabolique, puisque pour cette comète le ratio était supérieur à dix[110].

Delisle répondit en janvier 1745, en envoyant une copie de son traité qu'il avait présenté devant l'Académie de Saint-Pétersbourg à l'automne. Il insistait toujours sur la nécessité d'obtenir davantage d'observations cométaires vraiment précises, et il cita comme exemple les différences préoccupantes entre les orbites paraboliques que lui et Kies avaient trouvées pour la comète de 1729. Il demeurait donc sceptique devant la méthode d'Euler, qui, soutenait-il, « pourrait ne pas toujours suffire en pratique à cause du petit nombre de termes que vous utilisez ». Euler n'avait pas « procédé avec une précision suffisante en faisant les autres calculs astronomiques et trigonométriques ». Delisle ne cessait d'affirmer les vertus de la stratégie apprise en Angleterre : il était toujours mieux d'utiliser « les tables générales calculées par M. Halley quarante ans auparavant qui fournissent toute la précision nécessaire avec la plus grande facilité[111] ».

L'échange de 1742-1745 entre Euler et Delisle eut de grandes conséquences. D'une part, il montra à Delisle tout ce qu'il restait à accomplir avant que la combinaison de l'hypothèse parabolique, de la méthode historique de rétrodiction pour les trajets elliptiques et d'un réseau d'ampleur européenne de cométographie puisse être établie ; d'autre part et surtout, cela permit à Euler d'intégrer les problèmes des comètes dans son programme de recherche existant en mécanique céleste. Delisle l'avait convaincu que le problème fondamental pour les comètes résidait en réalité dans la prédiction des passages en estimant les apparitions cométaires successives par l'application de l'hypothèse parabolique. Mais Euler se rendit compte brusquement qu'une telle stratégie était étroitement liée à son travail sur les facteurs perturbateurs, des variables qui

pouvaient affecter tous les mouvements célestes et qui, comme il commençait à le soutenir au milieu des années 1740, allaient détruire l'exactitude du schéma originel de Newton. L'affirmation d'Euler était nettement évincée dans son analyse, qui fut développée après les échanges entre Euler et Clairaut en 1744, au sujet de la résistance de l'éther et de son application à la comète de 1682.

Au mois d'août 1744, Clairaut déclara à Euler qu'il proposait de développer son analyse de la mécanique céleste de Newton afin de résoudre des problèmes qui gâchaient les résultats des expéditions en Laponie et au Pérou. Clairaut décrivit notamment les sévères difficultés dans le traitement du mouvement des nœuds lunaires dans les *Principia*[112]. Euler présenta ses remarques sur le travail de Clairaut devant l'Académie de Berlin en octobre 1744 et, comme l'a montré Waff, les deux hommes entreprirent une exploration prolongée des difficultés de la théorie solaire et lunaire de Newton[113].

Au moment où Delisle commençait ses échanges avec Euler sur les problèmes de l'hypothèse parabolique pour les comètes, Euler débutait lui aussi son projet de tester la validité de la théorie newtonienne dans la mécanique des planètes et des satellites. Entre le printemps 1745 et le début de 1746, Euler et Kies travaillèrent ensemble à produire une série révisée de tables lunaires et solaires, qu'ils imprimèrent en décembre 1745[114]. Ainsi, lorsque Delisle souligna les différences considérables entre les modèles paraboliques construits pour la comète de 1729, Euler rétorqua immédiatement que ces différences pourraient bien s'expliquer par son utilisation de ces nouvelles tables :

> Je pense que la différence entre nos résultats provient principalement de la théorie du Soleil ; j'ai utilisé des tables

> que j'ai établies moi-même, dans lesquelles j'ai tenu compte des effets de la Lune, qui, selon la théorie de Newton, doit déranger quelque peu le mouvement de la Terre[115].

Delisle souhaitait savoir si ces tables étaient celles qu'Euler avait utilisées dans son *Orbitae Solaris determinatio*, imprimé à Saint-Pétersbourg en 1740 ; il exprima quelques doutes au sujet de la capacité de ces révisions à changer de façon mesurable les positions des comètes[116]. Mais Euler répondit en mai que les nouvelles tables étaient très différentes et que ses succès en matière de théorie lunaire et dans l'établissement de l'orbite terrestre avaient montré que l'excentricité et la période orbitale de la Terre avaient considérablement changé. Ces changements étaient particulièrement pertinents pour les comètes ayant de longues périodes et dont le retour n'aurait pas lieu avant longtemps. Euler annonça que le calcul des trajets exacts des comètes était une question urgente. Pourtant, Euler donna également à Delisle un avertissement sérieux : la résistance de l'éther interplanétaire, suggérait-il désormais, « pourrait modifier le mouvement des planètes et des comètes » et, ce faisant, écourter les périodes orbitales des planètes et des comètes et altérer leurs excentricités. La démonstration la plus « convaincante » de ces modifications, selon Euler, était précisément celle qui dérivait des périodes raccourcies de la comète de 1682 : « L'écart de temps entre sa première apparition et la seconde excède de presque un an l'écart entre la seconde et la troisième[117]. » Avec le commentaire d'Euler, la résistance de l'éther et les modifications dans les périodes successives constituèrent une sérieuse menace à l'encontre de la cométographie que Delisle et ses alliés s'efforçaient de développer.

Euler fut préoccupé par l'échec de la mécanique céleste de Newton à partir de 1745. C'était également le cas de Clairaut, et de son ennemi juré d'Alembert[118]. Au printemps 1746, Euler annonça à Delisle l'apparition imminente d'une collection de ses mémoires, comprenant des critiques détaillées de l'optique newtonienne et de la mécanique céleste. Le plus important de ces textes était une analyse qui montrait la diminution progressive de la longueur de l'année tropicale moyenne et affirmait avec force que ce changement était dû à la résistance de l'éther. « Ainsi, dans le cas des comètes, cet effet doit être très considérable, et c'est ce que prouvent en effet les tables des comètes de Halley[119]. » Euler rappela également à Delisle que les travaux de Halley du début des années 1690 démontraient l'accélération séculaire de la Lune, un phénomène que Halley lui-même avait attribué, en privé, à la résistance de l'éther[120].

Même si Delisle croyait encore que cette modification et cette résistance seraient difficiles à démontrer à partir de données anciennes et peu fiables, à l'été 1747, lorsque Delisle quitta la Russie, Clairaut et Euler étaient tous deux prêts à annoncer publiquement les éléments qu'ils avaient trouvés pour mettre en cause la validité exacte de la loi en carré inverse. En juin, Euler présenta son argument lors d'une session publique à l'Académie de Berlin, en suggérant une série de facteurs qui pouvaient perturber la loi, et en expliquant que, puisque la gravité avait une cause mécanique, elle ne pouvait ni suivre exactement cette loi, ni être étendue aux grandes distances[121]. En septembre, Clairaut déposa son propre mémoire sur cette question à Paris, mémoire qu'il publiera ensuite sous le titre *Du système du monde dans les principes de la gravitation universelle*[122]. Clairaut déclara à Euler qu'il était « charmé de voir que vous pensez ainsi au sujet de l'attraction newtonienne. Il

me semble démontré qu'elle ne suffit pas à expliquer les phénomènes[123] ».

La pertinence pour la théorie des comètes était que Clairaut, tout comme Euler, doutait que la loi du carré inverse pût être étendue à des planètes aussi lointaines que Jupiter et Saturne, et plus encore aux distances phénoménales de l'aphélie des comètes ; Euler, en outre, s'efforça d'établir la réalité de perturbations physiques majeures pour le mouvement non entravé des comètes dans l'espace. À la fin du mois de septembre, il déclara à Clairaut que, étant donné les perturbations démontrées du mouvement des nœuds lunaires, du mouvement de Saturne et de Jupiter, et la modification de l'année tropicale, il ne doutait pas qu'« un certain trouble des forces qui sont supposées dans la théorie doit en être la cause. Cette circonstance rend très probable, selon moi, l'existence des tourbillons ou d'une autre cause matérielle ». De ce fait, les perturbations des planètes supérieures et même des comètes seraient donc tout à fait considérables[124]. Bien que Clairaut ne fût pas convaincu par cet argument des tourbillons, lui comme Euler étaient désormais forcés d'admettre un important changement dans les principes de la mécanique céleste. Ceci conduisit à l'échange fameux entre Clairaut et Buffon à Paris en 1748-1749, et finalement à une violente dispute de précédence avec d'Alembert. Ce n'est pas avant mai 1749 que Clairaut fut capable de démontrer que la théorie lunaire pouvait être sauvée, ainsi que la loi du carré inverse ; et Euler ne fut pas convaincu par ce résultat avant avril 1751[125].

Pourtant, les résultats de ces recherches de la fin des années 1740 ne découragèrent pas l'enthousiasme d'Euler pour d'autres causes physiques, surtout liées à l'éther, qui pouvaient avoir des effets manifestes sur les périodes orbitales des corps célestes. Son intérêt pour l'éther était renforcé par ses propres recherches en

optique et en météorologie, qui montraient que l'éther transmettait la lumière, que le Soleil était responsable de la vibration de l'éther, et que les phénomènes tels que les aurores boréales et les queues de comètes étaient les conséquences de telles actions. Euler publia ces conclusions pendant les années 1750 et 1760, dont les *Lettres à une princesse d'Allemagne* de 1760[126].

Les échanges qui eurent lieu entre Tobias Mayer et Euler en 1751-1755 montrent également l'étendue de son attachement à la résistance de l'éther, sans parler de son hostilité invétérée envers la mécanique céleste anglaise. Euler soutenait, ainsi que Mayer, que la gravité ne peut constituer une force naturelle. Euler affirmait qu'elle était d'origine magnétique ; d'Alembert lui avait dit, pendant des discussions sur la théorie lunaire à l'été 1748, que la force magnétique qui produit la variation du compas pourrait également troubler le mouvement de la Lune[127]. Même si les travaux de Mayer prouvaient à Euler que les données ptolémaïques sur lesquelles son argument pour l'accélération séculaire était fondé n'étaient pas fiables, et que le magnétisme n'était sans doute pas une cause valable de la gravitation puisqu'il ne pouvait y avoir de matière magnétique entre les planètes, Euler resta convaincu que l'homogénéité d'inertie supposée par l'Anglais n'était qu'une hypothèse tendancieuse ; en février 1754, il déclarait encore à Mayer que « la résistance de l'éther me semble encore bien établie et nécessaire[128] ». Dans la mesure où Mayer avait éliminé la preuve utilisée par Euler tirée des modifications dans les périodes de la Lune et du Soleil, sa conviction devait être fondée d'abord sur les problèmes cométaires qu'Euler avait précisément mis en évidence avec Delisle dix ans plus tôt[129]. Cette conception négative de la cométographie anglaise est significative de l'attitude générale d'Euler à l'égard des savants britanniques. En mai 1755, il félicita

Mayer du succès que ses tables lunaires avaient rencontré à Londres à la commission des longitudes, ajoutant :

> Cette nation est très en retard dans la reconnaissance des découvertes étrangères, et pourtant, toutes les tables construites sur la théorie newtonienne s'étant égarées depuis de nombreuses années à plus de 5'de la vérité, la complaisance britannique ne pouvait aller jusqu'à ignorer la supériorité de vos tables[130].

L'attitude d'Euler était typique des critiques à l'encontre de la mécanique céleste britannique dans la période allant de 1744 à 1755. Ses mémoires sur le trajet des comètes influencèrent très certainement Johann Lambert, qui les lut dans le détail entre 1755 et 1757, avant sa visite décisive à Paris à l'été 1758 pour discuter d'un retour imminent[131]. Euler persuada également son collègue berlinois Franz Aepinus de la réalité et du pouvoir de l'éther, comme en témoigne la question posée par Aepinus en août 1757 : « Si la comète de 1682 approchait le Soleil en ligne droite, pourrait-elle être retardée d'une année pleine à cause de la résistance de l'éther[132] ? » Aepinus défendait encore de telles vues lorsqu'il alla à Saint-Pétersbourg en 1757, et Condorcet et Bossut discutaient de conséquences similaires de la résistance de l'éther jusqu'en 1766[133]. À son retour de Russie en 1747, Delisle fit immédiatement campagne au Collège royal et au nouvel observatoire de Cluny dans le but de transformer la prédiction du retour de la comète de 1682 en un test décisif de la valeur de son programme de mécanique céleste. C'est dans ce but qu'il recruta les jeunes astronomes Lalande et Messier.

Préparatifs pour la comète de Halley

Pendant l'hiver 1748-1749, Delisle apprit de Bevis la publication imminente des tables astronomiques de Halley, ainsi que des indications sur leur utilisation proposées par Bevis lui-même. Bevis décrivit tous les problèmes qu'il rencontrait avec les exécuteurs testamentaires de Halley et avec le libraire Innys. Il était également impliqué dans une querelle avec Bouguer et La Condamine au sujet de la publication d'une traduction de leur compte rendu de l'expédition au Pérou, qui avait été envoyée à Halley en 1738. Bevis fut furieux lorsqu'il découvrit en août 1749 qu'Innys avait publié les tables de Halley, ainsi que la nouvelle édition du *Synopsis*, mais sans l'accompagnement indispensable constitué par l'*Uranographia* de Bevis lui-même[134]. Delisle lui exprima sa sympathie dans une lettre du 22 octobre dans laquelle il conseillait à Bevis de ne pas faire confiance à son ennemi Le Monnier pour prendre soin de l'édition française de Halley :

> Il me semble que le plus commode serait que je me charge moi-même de ce travail, plutôt que de le confier à quelqu'un d'autre ; non seulement parce que M. Halley, lorsqu'il m'a confié ses tables il y a vingt-cinq ans, m'avait expliqué comment les utiliser, mais aussi parce que je les ai depuis constamment utilisées, et que je leur ai ajouté plusieurs tables qui sont nécessaires.

Le Monnier, en revanche, était « homme à accepter tout et n'importe quoi, bien qu'ayant souvent moins de raisons de le faire qu'un autre[135] ». En décembre, Delisle avait achevé un commentaire des tables de Halley et s'apprêtait à en envoyer une copie à Londres

pour Bevis, ainsi qu'une édition complète à Paris, afin de contrecarrer les plans de Le Monnier. Ainsi, le commentaire de Delisle avait pour but d'une part de clarifier et d'améliorer la méthode de Halley, et d'autre part d'établir ses propres droits de contrôle sur l'interprétation correcte des méthodes et des données de Halley[136].

Les *Lettres sur les tables astronomiques de M. Halley* de Delisle parurent à la fin du mois de décembre 1749. Delisle souligna avec force détails l'importance de ces tables pour le développement de la mécanique céleste. Il rappela les tentatives antérieures, notamment celles de Horrebow et de Nicasius dont il avait entendu parler pendant les années 1720, et expliqua que le retard dans la publication du texte de Halley était dû en partie aux disputes entre les héritiers de Bevis et de Halley, mais surtout au souhait de Halley d'inclure des corrections après le transit de Mercure et de nouvelles observations de la Lune[137]. Delisle condamna sans appel ceux de ses collègues qui n'avaient pas tiré leurs tables d'une théorie comme celle de Newton, et souligna l'importance extrême des commentaires que Halley avait faits au sujet des transformations dans les périodes de révolution de Jupiter et de Saturne dues à leur gravitation mutuelle. Delisle expliqua que Halley prévoyait une accélération de Jupiter de 57'et une décélération de Saturne de 2° 19'en mille ans. Halley, « le plus grand astronome de son temps, comme Newton fut son plus grand géomètre », avait également travaillé sur l'accélération séculaire de la Lune, et sur la suggestion de Newton, avait ajouté 1,5 minute à la longitude de la Lune afin de compenser cet effet[138]. Delisle fit à plusieurs reprises référence à son accès privilégié à Halley en 1724, quand Halley lui avait confié des copies des données non corrigées à condition qu'elles ne soient jamais transmises à ou utilisées par un autre astronome français. Delisle

rappela en outre l'existence de ses propres 1 716 tables, les toutes premières, affirmait-il, à être calculées « en exacte conformité avec la théorie de M. Newton[139] ». Il souligna également l'importance des transformations dans les périodes de révolution des planètes principales et de la Lune dans les débats qui faisaient rage à l'Académie au sujet de la mécanique céleste newtonienne. Delisle ne voyait aucune raison d'utiliser l'idée d'Euler d'une résistance de l'éther ; en revanche il souligna la pertinence du phénomène d'attraction mutuelle des planètes supérieures pour le calcul de toute force de perturbation agissant sur d'autres planètes ou sur les comètes[140].

Le commentaire que fit Delisle de la nouvelle version du *Synopsis* constitua sa première prise de parole publique à propos du rôle majeur qu'allait jouer selon lui le passage de la comète de 1682 dans le devenir de l'astronomie newtonienne.

> Le plus intéressant c'est que de cette manière on peut caresser l'espoir de revoir cette comète dans huit ans ; ce qui serait la meilleure preuve que l'on pourrait trouver du fait que la théorie de M. Halley sur les comètes est certaine[141].

Cette déclaration était en opposition totale avec notamment les opinions que Chéseaux avaient publiées en 1744, selon lesquelles la comète pouvait tout à fait être confondue avec deux corps célestes semblables, tous deux ayant des périodes d'environ 151 années. Delisle affirmait désormais que Halley avait eu les ressources pour produire une prédiction tout à fait exacte, mais n'en avait pas eu l'opportunité. Il annonça alors son intention de le faire :

> De cette manière, les astronomes seront mieux préparés pour l'observer lors de sa prochaine apparition afin de confirmer par leurs observations l'une des plus belles choses que nous sachions des mouvements célestes[142].

Nous avons déjà mentionné l'attachement d'Euler aux effets de la résistance de l'éther à l'époque de la comète de 1682. Cependant, comme Waff l'a montré, il n'y avait aucun consensus quant au caractère de la prédiction de Halley. Le modèle conçu par Euler de l'accélération séculaire conduisait à penser que la comète reviendrait en 1757, et de fait la comète de septembre 1757 fut d'abord prise pour celle de 1682. En Angleterre, Thomas Stevenson suggéra en 1758 que les astronomes avaient affaire à deux comètes ayant des périodes d'environ 151 ans[143]. Ainsi, Delisle perçut sa propre tâche comme étant d'organiser l'observation de la comète par les astronomes français afin d'en faire un test décisif pour la prédiction de Halley, et afin de contrecarrer tout projet rival de confirmation de cette prédiction, ce qui était tout aussi important de son point de vue. Delisle supervisa le travail de son assistant Charles Messier, d'abord à l'observatoire de Cluny, puis, après mars 1759, au collège Louis-le-Grand, en supprimant soigneusement les premières observations de la comète faites par son équipe[144]. Son autre étudiant, Jérôme Lalande, travailla comme calculateur avec M^{me} Lepaute pour aider Clairaut à tirer une version précise de la prédiction[145]. Delisle resta aussi fidèle que possible à sa version de la méthode de Halley. Selon les mots de Messier, Delisle

> pensait qu'il devait faire autrement que les autres astronomes, pour trouver dans quelle partie du ciel on devait la chercher. Il pensait qu'il n'était pas nécessaire de savoir où

> elle était pendant tout son trajet, mais seulement à partir du premier instant de son apparition[146].

Il était donc crucial pour Delisle d'établir, en appliquant de façon ingénieuse la méthode historique, quand exactement la comète serait visible, afin d'indiquer à Messier d'observer cette partie précise du ciel.

Ce projet supposait cependant un nouvel examen détaillé de toutes les observations antérieures de la comète. Delisle compila cet examen à l'été 1757, pendant lequel il remarqua que Halley et Newton avaient utilisé sept observations faites par Flamsteed à Greenwich entre le 30 août et le 19 septembre 1682. Halley avait initialement mené ces observations selon son hypothèse parabolique, puis avait corrigé les positions apparentes en introduisant une ellipse. Delisle avait donc retravaillé tous les calculs originaux de Halley fondés sur les données de Flamsteed tels qu'il les avait trouvés dans les deux versions du *Synopsis*, dans les *Principia* et dans l'*Historia coelestis* de Flamsteed. Il chercha dès lors à réconcilier ces données avec les observations de Cassini I^{er}, La Hire, Picard et Kirch, qu'il avait collectées chez ses correspondants en Allemagne et en France. Delisle en conclut que, puisque la comète était devenue visible 24 jours avant le périhélie en 1682, et 33 jours avant en 1607, il devait calculer les trajets paraboliques de la comète en supposant qu'elle serait visible 25 ou 35 jours avant le périhélie. Il prépara un tableau des étoiles de l'hémisphère nord comportant un ovale extérieur et intérieur pour chacune de ces hypothèses respectivement, qu'il donna à Messier afin de guider son observation[147].

Même si Delisle raconta ce projet dans le *Journal de Trévoux* en novembre 1757, il ne révéla ce tableau à personne si ce n'est à

Messier, et lui défendit de révéler ses observations. Pourtant, lorsqu'une comète apparut finalement près de 1 Pisces le soir du 21 janvier, elle était très éloignée du lieu prévu par Delisle dans la constellation du Capricorne. Mais le plus important était la dispute au sujet de la signification du passage de la comète[148].

À l'automne 1757, Lalande et Delisle avaient déjà fourni beaucoup d'efforts pour lancer une campagne qui ferait du passage de la comète un succès pour leur mécanique céleste. Lalande, dans une lettre écrite le 15 octobre, publia une estimation des éphémérides de la comète dans le même journal que Delisle ; il termina également un article sur les équations séculaires des planètes. Lalande railla l'hypothèse d'Euler et d'autres sur l'aspiration de la Terre vers le Soleil et les effets de la résistance de l'éther sur les planètes supérieures, affirmant que

> cette accélération de la Terre devrait déjà avoir eu des conséquences mortelles pour l'humanité, en nous faisant savoir presque l'heure et la manière dont elle doit finir[149].

Lalande répéta ensuite ces résultats lorsqu'il s'adressa à l'Académie à l'occasion du passage de la comète en avril 1759. Il mentionna à nouveau l'inutile supposition d'Euler et le besoin d'une approche délibérément analytique des inégalités des périodes dues aux effets des planètes supérieures et du Soleil. Cette analyse fut achevée par Clairaut, dont la fameuse prédiction de l'arrivée de la comète au périhélie mi-avril 1759 fut annoncée en novembre 1758 et publiée dans le *Journal des sçavans* en janvier 1759[150].

La fabrication de la comète

Les événements des premiers mois de 1759, ainsi que la controverse qui s'ensuivit, ne peuvent se comprendre qu'à la lumière des décennies antérieures de luttes et d'interprétations de l'héritage de la cométographie de Halley. Delisle considérait comme crucial d'établir la propriété de son groupe sur la bonne prédiction, qui devait marquer sa supériorité par rapport à ses rivaux parisiens. Il défendit à Messier de publier les observations faites de Cluny en janvier et en février. Clairaut et Lalande étaient également convaincus par sa conception du passage et soulignèrent plus encore que Delisle l'importance de leurs calculs par opposition aux vagues suppositions disponibles dans les tables de Halley. Leurs ennemis, d'Alembert et Le Monnier notamment, déjà hostiles à Delisle et à Clairaut depuis les années 1740, poursuivirent leur campagne quand la comète apparut après le périhélie du 1er avril[151]. Messier et Delisle observèrent la comète à partir de l'observatoire de Merville au collège Louis-le-Grand, puisque Cluny était trop bas pour observer la comète le matin. Le même jour, Delisle entendit parler, en provenance de Heidelberg, de l'observation désormais célèbre de la comète faite par Palitzsch en Saxe le jour de Noël 1758. D'autres personnes à Paris eurent connaissance de cette observation par l'intermédiaire d'un pamphlet qu'Heinsius, le vieil ennemi de Delisle, imprima à Leipzig en janvier 1759[152]. C'est pourquoi, aux réunions de l'Académie du 4 et du 7 avril, Pingré, Delisle et Messier présentèrent leur version du trajet et de la découverte de la comète ; version que Delisle eut la prudence de présenter à Versailles le 5 avril. Le 18 avril, Delisle avait planifié un long mémoire sur la comète, qui présentait triomphalement son passage comme une victoire pour son propre programme de recherche. Lalande et

Clairaut ajoutèrent leurs efforts pour mettre en lumière cette victoire[153].

C'est pourquoi Delisle comme Clairaut furent extrêmement prudents quant à la publicité qu'ils donnèrent du passage et de la prédiction ; ils rencontrèrent tous deux d'importants obstacles lorsqu'ils présentèrent leur travail comme un succès. Clairaut raconta à Daniel Bernoulli le 10 avril que certaines personnes affirmaient que Delisle et Messier avaient su où regarder grâce aux nouvelles qu'ils avaient reçues d'Allemagne ; selon sa formule, « il y a encore de gros nuages qui obscurcissent ce compte rendu[154] ». Clairaut lui-même s'était demandé s'il fallait ou non diffuser les détails de sa méthode de prédiction, mais il pensait apparemment que cela constituerait une propagande plus efficace de cette « importante et nouvelle vérification du système newtonien » si lui, ainsi que Lalande et Lepaute, était capable de faire une prédiction audacieuse sans révéler la méthode utilisée en estimant les perturbations causées par les systèmes Soleil-Jupiter et Soleil-Saturne[155].

Dans un article paru au *Mercure de France*, Le Monnier souligna que les prédictions de Clairaut avaient en réalité éloigné l'attention des observateurs de la recherche de la première apparition de la comète dans la constellation des Poissons en décembre 1758 et janvier 1759 ; Le Monnier et d'Alembert ajoutèrent en outre que Clairaut n'avait pas ajouté grand-chose, et Delisle rien, à la vague conjecture originelle de Halley[156]. Clairaut présenta deux longs mémoires pour sa propre défense à l'Académie en 1758 et 1759, et Lalande produisit une édition entièrement nouvelle du *Synopsis* et des autres tables de Halley pendant l'automne. Lalande déclara à ses lecteurs que, contrairement à ce qu'affirmaient ses critiques, on devait à Clairaut « la plus belle preuve que nous ayons de la

gravitation universelle[157] ». Que représentait une erreur de 30 jours dans un intervalle de plus de 151 ans, dont moins de 1/200^{e} avait été observé ? Lalande imprima des extraits de ces commentaires dans le *Journal encyclopédique* pendant l'été[158].

Le débat ouvert par les affirmations hardies de Delisle et de Clairaut était également lié à la politique de l'Encyclopédie, dans la mesure où ses opposants utilisaient les attaques contre d'Alembert comme des munitions contre leur ennemi. D'Alembert et ses alliés affirmèrent que la prédiction de Clairaut avait été trop vague et que le programme de Delisle s'était révélé inefficace. Clairaut répondit que le *Synopsis* de Halley avait totalement échoué et n'avait pas permis de calculer correctement les perturbations, ou de faire la différence entre le moment où la comète allait apparaître et le moment où elle allait atteindre le périhélie. Le travail de Delisle et de Clairaut avait permis de distinguer clairement ces deux moments. Clairaut répondit que, même s'il avait reconnu à Halley ce qu'il avait accompli, il était insensé de lui attribuer « la gloire d'avoir tout fait et tout dit sur la comète[159] ». C'est seulement en septembre 1762, lorsque Clairaut partagea avec Johann Euler un prix de Saint-Pétersbourg pour un essai sur les perturbations cométaires, que d'Alembert relâcha son attaque[160].

Ces disputes qui assombrirent le passage de 1759 sont intéressantes en ce qu'elles révèlent un consensus. Dans les années 1730 et 1740, comme le constatèrent Delisle et ses collègues, on comprenait assez mal, et on approuvait encore moins, la cométographie de Halley ; la plupart de ses affirmations furent mises en doute, et certaines furent totalement rejetées, comme le montrent les positions d'Euler, Bouguer et Chéseaux. Mais, en 1759, ceux qui pensaient que le programme de Halley représentait une avance majeure n'avaient plus en face d'eux que ceux qui étaient

convaincus que le triomphe entier de la cométographie n'était dû qu'au seul Halley. Ce consensus n'était en aucune manière la conséquence naturelle de l'apparition de la comète de janvier 1759. Au contraire, il avait nécessité un effort soutenu et douloureux de propagande et de controverse de la part d'astronomes comme Delisle pendant la première moitié du siècle.

CHAPITRE 3

La philosophie naturelle et le spectacle public au XVIII^e siècle

Priestley déclara à ses étudiants à la Warrington Academy en 1761 :

> N'importe quelle histoire vraie possède un avantage capital sur toute œuvre de fiction. Les œuvres de fiction ressemblent à ces machines que nous fabriquons afin d'illustrer les principes de la philosophie, comme les globes et les planétaires, dont l'usage ne peut aller au-delà des vues de l'ingéniosité humaine ; en revanche, les histoires vraies ressemblent à ces expériences avec la pompe à air, la machine à condensation et la machine électrique, qui exhibent les opérations de la nature, et le Dieu de la nature lui-même.

L'histoire des sciences du XVIII^e siècle a le plus souvent suivi la règle des fictions selon Priestley : elle a illustré un principe qui est exposé et utilisé afin d'expliquer le développement de ce difficile sujet. « L'ingéniosité humaine » avait, dans ces histoires, la place d'honneur pour expliquer les changements qui ont lieu au

XVIIIe siècle. Dans sa magistrale étude sur la philosophie naturelle expérimentale à cette période, John Heilbron attaque « les historiens-physiciens qui se sont intéressés davantage au progrès qu'au processus ». Ce chapitre tente de saisir le processus de la philosophie naturelle expérimentale, dans lequel la pompe à air, la machine à condensation et la machine électrique occupent une place importante. On espère que certains thèmes actuellement discutés par l'historiographie seront ainsi replacés dans un contexte où leur utilité sera expérimentalement vérifiée[1].

Trois de ces thèmes sont explorés : la notion de production scientifique comme performance (avec comme corollaire l'attention au public de la science) ; la relation complexe entre les styles de la philosophie naturelle expérimentale et sa systématique (et leurs conséquences sur une possible taxonomie des sciences du XVIIIe siècle) ; enfin, le passage d'une philosophie naturelle faite par des entrepreneurs à une philosophie naturelle politiquement contrôlée (et son effet sur une carrière scientifique à l'ombre du jacobinisme dans les années 1790). Sur la question du « public », on tentera de montrer ici que la philosophie naturelle expérimentale peut être analysée comme pratique de mise en scène publique, et que sa rhétorique peut être interprétée comme ensemble de règles visant les effets possibles, sur un public, de l'expérience d'une production de forces actives à partir de la matière. Un lien se dessine ici entre l'ontologie de la matière et du pouvoir d'une part, et la pratique de la philosophie naturelle d'autre part ; lien qui passe par des convictions épistémologiques et théologiques concernant les caractéristiques de ce pouvoir, et de ce public. Actuellement, les historiens étudient souvent le public du XVIIIe siècle en fonction de sa structure et de ses effets sur la production de la science. Dans ce chapitre, il s'agit d'identifier les manières par lesquelles la

philosophie naturelle envisageait son propre public à l'intérieur d'un certain contexte théorique et pratique ; il s'agit en outre de décrire les diverses épistémologies dans lesquelles les publics étaient susceptibles de réagir[2]. Sur la question de la *taxonomie*, on s'attachera à ce que Geoffrey Cantor appelle « le problème du XVIIIe siècle » : la recherche d'une description convaincante de la variété des sciences à cette période. La solution la plus fréquemment adoptée consiste à distinguer la tradition « mathématique » de la tradition expérimentale. Une telle distinction avait été esquissée par Kuhn et Home et utilisée par Heilbron dans son histoire de l'électricité. On pourrait aussi se demander où placer l'histoire naturelle – cette tendance, folie, *épistémè* du XVIIIe siècle – par rapport à ces schémas. Ce chapitre explore l'une des places possibles du systématisme à la fin du siècle, et met en rapport son évolution et celle de la philosophie naturelle expérimentale[3].

Enfin, sur la question du *commerce* et de la *révolution*, un chemin se dessine, qui part de la pratique des conférences publiques et culmine dans les orateurs « héroïques » des années 1780 et 1790. Les activités des conférenciers publics ont été étudiées dans le détail. Leur fonction dans l'éducation, les « preuves nombreuses, quoique fragmentaires », que ces conférences fournissent sur la manière « dont la science était publiquement perçue », et leur rôle dans le « théâtre de la haute société » sont des thèmes qui ont été abordés. Ici, on considère la conférence comme un « idéal-type » de la production de la philosophie naturelle, et on propose de montrer comment la relation au public est importante pour comprendre le projet de la philosophie naturelle. Cette importance doit beaucoup à la triple association des forces actives de la matière, de l'esthétique du sublime et du beau, et de l'épistémologie de l'expérience contrôlée. Dans le même temps, on s'efforce de tenir compte de

l'état de la science et de la médecine à la veille de la Révolution française, à une époque où, selon le journaliste parisien Louis Mercier, « l'amour du merveilleux nous séduit toujours ». Cet amour du merveilleux est apparu au sein de la philosophie naturelle et a été reconnu comme étant une influence majeure. Il constituait aussi bien une menace : si, au début du siècle, la merveille avait pu être exploitée avec profit par des entrepreneurs, à la fin du siècle elle pouvait être présentée comme une menace pour l'ordre social. Il était trop facile d'utiliser le rapport au public comme une ressource contre les philosophes naturels. On pouvait les appeler charlatans, les accuser d'être animés de motifs répréhensibles et de tromper leur public vulnérable. On pouvait les considérer comme des radicaux subversifs, capables de saper l'autorité établie et de faire appel à des publics qui avaient été jusqu'alors exclus de l'espace public. Ils pouvaient contester les monopoles religieux et médicaux sur le soin des âmes et des corps. D'autres modèles de savoir, issus du système de l'histoire naturelle et faisant appel à une conception différente du rapport à la nature, pouvaient apparaître comme à la fois rivaux et forces de contrôle [4].

L'« histoire véritable » de ce chapitre n'est donc pas purement chronologique. En premier lieu, la philosophie naturelle des puissances actives de la matière est esquissée, et ses liens avec la conférence publique explorés. Un exemple tiré du travail des philosophes naturels s'intéressant à l'électricité permet ensuite d'illustrer la pratique de la philosophie naturelle expérimentale, son usage fructueux du domaine des forces, ainsi que certains problèmes posés par son exploitation. Dans une deuxième étude de cas, l'analyse du traitement des tremblements de terre par les philosophes naturels permet de montrer comment le spectacle de la nature pouvait être compris, et à quelles conditions des leçons

pouvaient être tirées de tels phénomènes. Dans la dernière section du chapitre, on décrira l'émergence d'un schéma alternatif, davantage fondé sur la météorologie, de l'usage médical du système de l'histoire naturelle. Dans les sections sur le contexte esthétique et politique de la période 1780-1799, les controverses du temps sont explorées dans la perspective de ces modèles et de la lutte pour le contrôle des publics et du pouvoir. On fera l'hypothèse que la crise de la fin du XVIII^{e} siècle, en Grande-Bretagne comme en France, a mis en cause la survie d'une philosophie naturelle qui s'opposait radicalement aux sciences développées par les Académies de l'Europe continentale.

Puissances actives et conférences publiques

Les années 1780 furent essentielles dans la résolution de ces problèmes par les philosophes naturels. Le mesmérisme, par exemple, posait de telles questions avec une grande clarté. Jean-Jacques Paulet, correspondant de la Société royale de médecine, et auteur de traités sur la manufacture de la soie et sur la peste du bétail dans les années 1770, écrit un pamphlet anti-mesmériste intitulé *L'Antimagnétisme* (1784). Paulet identifie tout un ensemble de croyances et d'organisations, incluant les physiocrates, « les lycées, les clubs, les musées, les sociétés d'harmonie, etc. », comme étant les sanctuaires d'attitudes particulières à l'égard des pouvoirs de la nature :

> Il existe des sociétés dans Paris où l'on dépense un argent énorme pour s'occuper de ces sciences. On est persuadé qu'il existe dans la nature des puissances, des esprits invisibles, des sylphes, qui peuvent être à la disposition des hommes ; que la plupart des phénomènes de la nature, toutes nos actions, tiennent à des ressorts cachés, à un ordre d'êtres inconnus […] ; enfin que nous ressemblons tous, dans ce bas monde, à de vrais pantins, à des esclaves ignorants et complètement aveugles. Ils impriment fortement dans toutes les têtes qu'il est temps de s'éclairer, que l'homme doit jouir de ses droits, secouer le joug des puissances invisibles, ou apercevoir au moins la main qui le régit[5].

De telles attitudes étaient le résultat d'une déformation de certaines affirmations de la philosophie naturelle du XVIII^e^ siècle. Antoine Servan, homme de loi radical et collègue de Mesmer, commenta pendant les années 1780 « la belle conjecture que Newton a développée » sur l'existence d'un fluide actif universel responsable du feu, de l'électricité, et même des sensations humaines[6]. Il faut donc s'efforcer de comprendre la fonction de telles déclarations dans le système de la philosophie naturelle.

La philosophie naturelle se donnait comme but de produire d'étonnantes et merveilleuses puissances actives par la manipulation de la matière inerte et passive. Heilbron a décrit la philosophie naturelle de l'électricité comme étant « théologiquement et cosmologiquement neutre[7] ». Cependant, à l'intérieur de la pratique de la philosophie naturelle, cette neutralité était entièrement factice. On l'a décrite en termes de « pratique hégémonique » : si le philosophe naturel pouvait produire de telles puissances, alors c'était la preuve de l'immanence du pouvoir divin dans le monde

naturel. L'épistémologie qui caractérise cette pratique a été mise en place par Newton, pour qui « les arguments pour la divinité, s'ils ne sont pas tirés de phénomènes, sont hasardeux et ne servent qu'à paraître ». Newton écrit dans un brouillon de la dernière question de l'édition de 1706 de l'*Optique* en latin que

> les arguments métaphysiques sont difficiles et compris par de rares personnes. L'argument selon lequel tous les hommes sont capables de comprendre, et par lequel la croyance en une divinité a subsisté jusqu'ici dans le monde, est tiré des phénomènes. Nous voyons les effets d'une divinité dans la création, et de là nous tirons une cause, et donc une preuve de l'existence d'une divinité, et nous pensons que ses propriétés relèvent de la philosophie expérimentale[8].

Ces questions faisaient la liste des puissances actives que les philosophes naturels devraient utiliser dans de telles « preuves » : la fermentation, les queues de comète, le Soleil, l'éruption, la cohésion, ou l'électricité. L'identification problématique de l'électricité avec le feu, l'activité chimique, le phlogiston, la lumière ou le fluide nerveux était partie intégrante d'une pratique dans laquelle il était essentiel de relier les puissances et l'action divine puis de les produire à partir de la matière[9].

Toute critique d'une telle conception de la philosophie naturelle supposait de s'affronter à la question de la génération de puissances apparemment divines, et toute exposition de telles pratiques supposait d'affirmer l'importance de ces puissances et de leur statut. Un ami de Francis Hauksbee, le mathématicien Humphry Ditton, évoque une « fameuse puissance de la matière » qu'il identifie au « grand principe qui fait tenir ensemble le monde corporel », et

poursuit en comparant l'« auguste et noble » pouvoir de la gravitation avec les « non moins subtils et curieux » pouvoirs de cohésion[10]. Ditton est un philosophe naturel caractéristique de sa génération. Les auteurs des textes de référence en philosophie naturelle, tels que le professeur hollandais Pieter van Musschenbroek, discutaient communément les liens entre les « principes actifs » et l'action divine, pendant que leurs contradicteurs, tels que Green, Hutchinson ou Polignac, contestaient de tels liens. L'enjeu était clair : Musschenbroek et ses alliés insistaient sur le fait que, dans les « cas merveilleux de mouvements variés, soudains, cachés, véhéments et tumultueux », le philosophe naturel doit détecter la preuve des principes actifs de la matière[11]. De la même manière, un compatriote de Musschenbroek, Herman Boerhaave, dans ses très influentes conférences à Leyde, parla du feu comme étant non seulement une partie constitutive de la nature, mais simultanément comme « le grand instrument de la Nature » et comme une ressource cruciale pour le philosophe naturel agissant, qui doit posséder un « savoir actif […] Ses spéculations deviennent des résultats ». En retour, cette analyse était étroitement reliée à la mise en scène sur le lieu d'instruction (l'amphithéâtre) et au but théologique d'une telle instruction (les pouvoirs divins).

Boerhaave déclara à Fontenelle en 1725 que, par l'intermédiaire du feu, les forces élastiques dépendaient du Soleil lui-même, et il expliquait à ses étudiants que

> nous sommes frappés d'admiration quand, en observant ces phénomènes, nous voyons quels pouvoirs le Créateur a donnés à l'esprit humain ; ces pouvoirs, lorsqu'ils sont soigneusement cultivés, nous permettent de découvrir les lois qu'il a établies en construisant le monde. Assurément, nous

> devons la plus grande vénération et gratitude à cet Être qui, en imprimant sa propre image dans nos esprits, nous a donné la faculté de comprendre, d'étudier et d'aimer la vérité. Pourtant, toute cette diversité ne se trouve-t-elle pas dans une simple particule de feu[12]…

Finalement, le modèle d'autorité développé par Newton convenait parfaitement au développement de cette pratique de l'expérience rationnelle des puissances actives dans un espace public. Ce modèle, le *divine sensorium*, décrivait la loi de Dieu comme équivalente au contrôle mental sur le corps. Il fut popularisé exactement en ces termes par Samuel Clarke et Joseph Addison :

> Sir Isaac Newton l'appelle le *sensorium* de Dieu. Les brutes comme les hommes ont leurs *sensoriola* […] par lesquels ils appréhendent la présence et perçoivent les actions des quelques objets qui se trouvent contigus à eux […] Mais dans la mesure où Dieu le Tout-Puissant ne peut que percevoir et connaître toutes les choses dans lesquelles il réside, l'espace infini laisse la place au savoir infini et, pour ainsi dire, à un organe de l'omniscience[13].

La philosophie naturelle, telle qu'elle fut développée dans des conférences et des expériences publiques par Hales, Whiston, Gray, Desaguliers, Hauksbee et d'autres, se développait à travers tout un cosmos de puissances actives dans lesquelles le rôle du philosophe naturel était central : sa mission était d'exercer son contrôle sur ces puissances afin d'en révéler et d'en rendre manifestes pour le public les implications théologiques et morales[14].

Cette pratique était adaptée à une certaine doctrine de l'autorité politique et morale. La théorie du début du XVIII^e^ siècle prolongeait les implications d'un monde moral et naturel dans lequel, idéalement, l'obédience politique comme l'autorité politique seraient à la fois puissantes et limitées[15]. Desaguliers, le conférencier public le plus important et le démonstrateur de la Royal Society dans les années 1720 et 1730, décrivait le système du monde newtonien comme « le meilleur modèle de gouvernement » (1728), expliquant que la liberté restreinte et le gouvernement par le contrôle intellectuel devaient être le fondement de l'autorité. La même année, Voltaire modifia le texte de son épopée *La Henriade* pour faire la même démonstration en rapprochant la sage administration des « orbes éthérés » et de « l'univers merveilleux ». L'émergence d'un système de contrôle social qui n'a cessé d'infester la crise de la société du XVIII^e^ siècle était fondée sur de telles convictions. En 1753, Henry Fielding, alors magistrat, citait avec approbation les travaux des philosophes naturels et les sermons qui déclaraient que « la conscience tiendra fermement un homme quand toutes les autres obligations auront disparu[16] ». Ce système de contrôle supposait explicitement une telle moralisation de l'expérience naturelle. La réponse de John Wesley est caractéristique de l'intégration des conférences publiques dans la bonne société. Wesley prononçait des sermons sur la discipline à Bedford Assizes, où il écrivit également son *Desideratum, ou l'Électricité rendue simple et utile* (1760). Il fit part de sa propre expérience lors d'une conférence sur l'électricité :

> Je suis venu avec deux ou trois amis pour voir ce qu'on appelle des expériences électriques. Comme de telles choses doivent embarrasser ces pauvres demi-habiles qui ne croiront

> que ce qu'ils peuvent comprendre ! Qui peut comprendre comment le feu se comporte dans l'eau, et passe à travers elle plus facilement qu'à travers l'air ? Comment une flamme réelle a-t-elle pu sortir de mon doigt, comme le fait le feu de l'esprit-de-vin ? Comment de tels phénomènes étranges et beaucoup d'autres sont-ils provoqués en retournant un globe de verre ? Tout cela est mystérieux, et heureusement Dieu interdit toute fierté à l'homme[17].

Le répertoire des merveilles disponibles pour les philosophes naturels s'est développé à travers le siècle, et, en retour, les artistes ont répondu en publiant et en exploitant ce développement. Les tableaux de Joseph Wright sont souvent cités à ce propos. La mode des grottes impliquait également la reproduction de spectacles : la grotte qui avait été dessinée pour Alexander Pope à Twickenham était décrite comme un « lieu de surprise », comme l'étaient celles du conférencier et cosmologiste Thomas Wright[18]. Philip James de Loutherbourg construisit des décors de théâtre dans le but d'imiter les spectacles de philosophie naturelle, notamment *Eidophusikon*, qui utilisait des éclairages de couleurs vives pour montrer les merveilles de la nature à son public de Drury Lane. La « commercialisation du loisir » se faisait à l'époque dans de nombreux lieux de spectacle comme ceux de la harpe à couleurs de Castel à Soho Square en 1756, un spectacle que l'astronome Lalande commenta dans son traité sur l'harmonie. L'attrait d'une pratique spectaculaire faisait partie d'une culture commerciale qui s'est développée au cours du XVIII^{e} siècle[19].

Philosophes électriques

À l'intérieur de ce système de spectacles publics, l'électricité jouait un rôle central. Comme le *Genleman's Magazine* le souligne en 1745, cet état de fait conférait à la philosophie naturelle une place privilégiée :

> À partir de l'année 1743, ils découvrirent des phénomènes surprenants au point d'éveiller la curiosité indolente du public, des dames et des gens de qualité, qui ne s'intéressent à la philosophie naturelle que lorsqu'elle produit des miracles. L'électricité devint un sujet en vogue, les princes souhaitaient voir ce nouveau feu qu'un homme pouvait produire à partir de lui-même […] que de découvertes surprenantes ont été faites pendant ces quatre ans ; le polype d'une part, aussi incroyable qu'un prodige, et le feu électrique, aussi surprenant qu'un miracle[20].

Le rapide développement de l'intérêt pour l'électricité a été souligné par des historiens du temps, et fut utilisé par des virtuoses tels que William Stukeley ou Granville Wheler pour défendre leurs propres prétentions à l'originalité et à un certain statut social[21]. En outre, bien souvent, des hommes comme Stephen Gray et Jean Théophile Desaguliers étendirent le champ d'application des démonstrations électriques, soit en augmentant leur pouvoir dramatique grâce à l'amélioration des instruments et des modes d'exposition, soit en rapprochant l'électricité de puissances cosmiques plus élevées. Ainsi, après avoir lu le témoignage de Gray à la Royal Society en mai 1731, Edmond Halley déclara qu'il s'agissait de la

> confirmation électrique des théories de Sir Isaac Newton concernant l'existence d'un médium universel qu'il nomme parfois l'éther et parfois l'esprit électrique et qui selon lui était la cause des phénomènes de la gravitation, de la lumière, de la chaleur et de l'électricité[22].

De même, l'important électricien Dufay écrivit en 1734 qu'il y avait des rapports directs entre l'électricité, le feu, la chaleur et les puissances vitales : Dufay déclara que le pouvoir électrique « trouve dans l'atmosphère de ce corps un aliment convenable qui l'embrase, et la fait devenir un feu actuel capable de brûler et de causer de la douleur[23] ». On retrouvait là les liens caractéristiques entre les puissances nerveuses, électriques et physiques.

Francis Hauksbee, Stephen Gray et leurs successeurs tentèrent de relier l'électricité à la puissance la plus élevée – la gravitation. Dans son commentaire sur le « planétarium électrique », Wheler écrivit :

> Il n'est sans doute pas inutile pour les astronomes de se demander si oui ou non un médium ayant la propriété qui fait que tout corps qui y est plongé repousse les autres, devrait être associé à la gravité pour expliquer les *phénomènes* célestes[24].

Finalement, Wheler raconta à Benjamin Wilson que

> la grande raison du mouvement d'ouest en est qui pourrait se poursuivre pendant de nombreuses centaines de révolutions était due à un mouvement secret de la main, qui donnait imperceptiblement au corps pendulaire le désir de se mouvoir comme on le souhaitait,

alors que John Smeaton, le grand ingénieur, écrivit qu'il avait une objection contre l'idée de « l'identité de l'électricité et de la gravité », fondée sur le fait que la puissance électrique ne varie pas selon la masse du corps, contrairement à la gravité[25]. Cependant, cela ne découragea pas les philosophes naturels qui prirent exemple sur le planétarium de Stephen Gray et sur la suggestion ambiguë de Newton dans les *Principia* (1713). Le fameux conférencier Benjamin Rackstrow fit voir des boules en verre tournantes, de petits morceaux de feuilles d'or et des vessies de lapins pour montrer que « ce feu électrique est la raison pour laquelle les planètes restent à leur place, tournent autour de leur axe et autour du Soleil ». John Ryland, un professeur du Northampstonshire, construisit un « planétaire vivant composé de seize élèves ». John Lacey et Robert Harrington décrivirent tous deux des cosmologies électriques dans lesquelles la puissance électrique meut les planètes et les comètes, alors que le clerc Richard Symes, de Bristol, entreprit de construire un planétaire électrique :

> Ici un homme se demandera tout naturellement : quelle est la puissance qui met les corps en action, et quelle est la lumière qui les illumine ? Les puissances cachées de la Nature en sont la cause clairement mise en évidence par cette expérience, et rendue plus facile à comprendre[26].

Il faut souligner le passage insensible du pouvoir électrique considéré comme principe ontologique de la nature à l'électricité considérée comme outil pédagogique dans les mises en scène des conférenciers.

L'électricité représentait donc parfaitement les préoccupations des philosophes naturels. Elle pouvait *réaliser* les puissances dans la

matière, ce que les auteurs ont souvent souligné en comparant le chemin parcouru depuis la mort de Newton. « Je suis persuadé que si Sir Isaac Newton était vivant et pouvait assister aux expériences que l'on fait désormais sur l'électricité, il se livrerait lui aussi au feu élémentaire », écrivit Rackstrow en 1748. Peter Collinson, l'un des correspondants de Franklin, écrivit à Cadwallader Colden en 1745 que

> l'électricité […] pourrait nous conduire à de plus hautes vérités, et en particulier à découvrir la nature de ce subtil médium élastique et éthéré sur lequel Sir Isaac Newton s'est interrogé à la fin de son *Optique*. Si de telles découvertes avaient eu lieu à l'époque de ce grand homme, son esprit lumineux les aurait appliquées à de merveilleux desseins.

Benjamin Martin, l'un des plus fameux conférenciers de l'époque, déclara en 1747 que « nous sommes arrivés à une grande maîtrise depuis l'époque de Sir Isaac, et nous pouvons presque démontrer l'existence de l'éther par le phénomène de l'électricité ». En tant qu'auteur boehmeniste, Richard Symes pensait que, « si de tels progrès dans les instruments électriques avaient été accomplis » à l'époque de Newton, « cela lui aurait permis d'exposer à la vue de tous leur puissance d'attraction et de répulsion, et lui aurait épargné le mal de tant écrire à ce sujet[27] ». Cette utilisation de l'autorité de Newton était caractéristique de la philosophie naturelle : le problème de l'interprétation de l'héritage textuel dominait sur la tentative de construire une pratique d'un statut élevé. C'est dans la perspective de telles tentatives que se place l'effort de Bryan Robinson, qui publia une série de versions d'un compte rendu soi-

disant authentique des théories newtoniennes sur l'éther, tout en déclarant à Wilson :

> Sir Isaac Newton s'est prononcé pour la cause de l'électricité et je me réjouis que vos expériences puissent permettre bientôt de la démontrer et de la confirmer.

Des comptes rendus par Pierre Coste (dans sa traduction de l'*Optique*), par Desaguliers (dans sa *Philosophie expérimentale*), et par John Conduitt (dans sa conversation avec Newton en 1725) ont tous maintenu cette ambiguïté qui faisait allégeance aux textes sacrés que Newton avait publiés ou supprimés : selon Conduitt, Newton « ajouta qu'il s'était suffisamment prononcé pour que les gens sachent ce qu'il voulait dire[28] ». C'est précisément un tel témoignage qui a constitué une fructueuse source pour la construction par les historiens d'une « véritable » tradition newtonienne, et, dans le milieu des philosophes naturels eux-mêmes, pour une course à la bénédiction « newtonienne ». Priestley résume ainsi ce dilemme et le situe dans le contexte de la philosophie naturelle :

> Qu'auraient dit les anciens philosophes, et qu'aurait dit Newton lui-même, en voyant cette nouvelle génération d'électriciens qui imitent en miniature tous les effets connus de cette puissance formidable, qui désarment la foudre de son pouvoir de destruction, et qui, sans aucune appréhension du risque qu'ils courent, attirent les éclairs des nuages jusqu'à leur appartement privé et s'amusent tant qu'ils veulent en réalisant toutes les expériences qui sont faites par les machines électriques[29].

Dans ce contexte, la réponse d'Antoine Servan en 1781 était simplement caractéristique de l'attitude appropriée à la philosophie naturelle :

> Quant à l'électricité, j'ai une machine électrique qui m'amuse énormément tous les jours : mais elle me stupéfait bien plus encore. Jamais les effets du mesmérisme ne m'ont à ce point frappé ; si quelque chose devait confirmer à mes yeux l'existence d'un fluide universel, d'un agent unique dans les modifications de si nombreux phénomènes, ce serait ma machine électrique[30].

Bien plus, l'électricité était dramatique, et même dangereuse, notamment après que les expérimentateurs allemands eurent développé la bouteille de Leyde, une source portable d'une grande puissance. Suite à la mort de l'électricien russe Richmann, le *Gentleman's Magazine* fit le commentaire suivant :

> Nous en sommes finalement arrivés à atteindre le feu céleste, qui […], si nous prenons trop de liberté avec lui, comme le Prométhée de la fable, risque de nous faire trop tard nous repentir de notre témérité.

L'électricien français Mazéas fit le compte rendu d'expériences sur les éclairs en des termes similaires : il écrivit à Benjamin Wilson au sujet de

> cette matière extraordinaire que la Nature nous a cachée depuis la création du monde. La fable de Prométhée est

> vérifiée – après cela, qu'est-ce qui pourra encore sembler difficile aux mortels[31] ?

L'électricité était populaire, comme Smeaton l'écrivit en 1746 :

> Je ne trouve pas que le fait de montrer les merveilles de l'électricité pour de l'argent soit beaucoup plus considérable que de montrer n'importe quelle autre chose étrange dans le même but ; pourtant, si on peut gagner 200 livres sterling par ce moyen, je ne vois pas où est le mal, puisqu'il n'y a là ni fraude ni malhonnêteté[32].

Cette puissance constituait l'« officier immédiat de Dieu Tout-Puissant », selon l'expression utilisée par Francis Penrose et John Freke dans les années 1750. Selon Richard Symes :

> Après de telles découvertes, on ne peut pas traiter les chrétiens avec mépris […] quelle preuve avons-nous désormais devant les yeux de l'état durable du feu, et […] quelle preuve cela constitue-t-il du statut éternel de l'âme[33] ?

En somme, grâce à ses liens avec l'activité nerveuse, l'électricité était susceptible d'affecter à la fois l'esprit et le corps malade des membres du public des philosophes naturels :

> Ce que l'on appelle la sensibilité des nerfs ainsi que nombre de maladies sont dues au fait que le corps possède trop ou trop peu de ce fluide subtil[34].

De nombreux conférenciers, comme Thomas Yeoman à Birmingham, John Neale et Benjamin Rackstrow à Londres, Benjamin Martin et John Arden à Bath, et Richard Symes à Bristol, firent la liste de la large variété de maladies qu'ils étaient capables de soigner de façon spectaculaire. Bien entendu, de telles « guérisons » augmentaient l'attrait de la conférence tout en instruisant le public de l'étendue de la puissance du principe actif exposé[35].

Cependant, la puissance électrique constituait à la fois la ressource idéale pour les conférences, et la cible parfaite pour leurs critiques. Benjamin Martin fut attaqué pour son populisme :

> Il existe beaucoup d'imposteurs ignorants qui font des expériences et qui s'imposent, et imposent leurs machines en profitant du caractère bienveillant et généreux de l'être humain […] C'est ainsi que la noble science se trouve livrée au mépris et aux disputes.

Ici, à l'évidence, l'appel de la philosophie naturelle à un groupe d'esprits égaux devait se mesurer avec la politique de l'illusion de masse. La relation entre la réaction populaire et l'erreur populaire dans le théâtre de la philosophie naturelle était complexe, et compromettait le succès de la philosophie naturelle elle-même. Il était trop facile pour « les charlatans et les imposteurs ignorants » de

> prétendre faire de la philosophie, et de haranguer les gens au moyen de ce qu'ils appellent des conférences, leur donnant ainsi une idée (j'allais dire une nausée) mesquine et méprisable de l'un des plus beaux, passionnants et utiles systèmes du savoir humain[36].

John Freke soulignait que « tous ceux qui donnent à voir leur art à de nouveaux clients pour de l'argent sont condamnés à chercher les applaudissements par tous les moyens », et son contradicteur Martin déclarait que, « en de nombreux endroits, j'ai été si barbare et si ignorant qu'ils m'ont pris pour un magicien, et même, certains ont menacé ma vie pour avoir soulevé des orages et des tempêtes[37] ». De fait, la défense de la philosophie naturelle relevait bien souvent d'une identité de classe. Martin expliquait que le tarif d'entrée à ses conférences était trop élevé pour permettre au peuple d'y avoir accès ; l'électricien suédois Klingenstierna rétorqua aux critiques aristocrates de la science électrique que seuls les marchands considéraient la philosophie naturelle comme dangereuse ou inutile[38]. Mais, dans le même temps, de tels arguments étaient affaiblis par la facilité avec laquelle l'électricité fut adoptée par les sectes d'enthousiastes pour illustrer leurs propres leçons, comme le montrent les affiliations de Freke ou de Symes. Les boehmenistes et les philadelphistes adoptèrent l'électricité dans les années 1740, alors qu'à la fin du siècle les attaques contre les radicaux mentionnent des groupes comme l'Adelphi Society à Leicester, « dont les expériences avec l'électricité avaient été assimilées, dans l'esprit du public, avec la construction de machines infernales ».

En 1774, Priestley déclara que « la hiérarchie anglaise (s'il y avait quoi que ce soit de suspect dans sa constitution) a […] de bonnes raisons de trembler même devant une pompe à air ou une machine électrique[39] ». Finalement, c'est la présence de radicaux et d'enthousiastes autour de la communauté philosophique qui a rendu le succès de cette communauté si difficile.

La place de l'enthousiasme dans le développement de la philosophie naturelle est cruciale. D'abord parce que l'enthousiasme

lui-même était souvent expliqué au moyen de la philosophie naturelle. Les historiens de la psychiatrie ont étudié ces liens entre l'enthousiasme, la révolte populaire et l'organisation de la philosophie naturelle[40]. Ils ont souligné l'importance de l'affirmation au XVII^e^ siècle des traces matérielles de l'enthousiasme et de la folie populaires, traces qui sont liées à la doctrine de principes actifs dans le cosmos. De fait, la superstition et l'enthousiasme étaient souvent l'équivalent dans le domaine social des principes actifs dans le domaine de la nature. Si de telles puissances étaient révélées au grand jour, elles devaient être contrôlées.

Les récits sur l'enthousiasme que firent au XVII^e^ siècle Meric Casaubon, Thomas Browne ou John Locke se développèrent au début du XVIII^e^ siècle et furent considérés comme faisant partie intégrante de la philosophie naturelle. Dans son *Histoire naturelle de la superstition* (1709), John Trenchard décrivit les « vapeurs empoisonnées et mélancoliques qui s'échappent d'un enthousiaste », et utilisa la notion d'« effluves et de particules minuscules » pour expliquer l'illusion collective des « Prophètes français » à Londres en 1706-1710[41]. Dans son étude de cet épisode, Hillel Schwartz a analysé la permanence des récits sur l'enthousiasme en termes de puissance active, d'« éclair de feu » ou de « chaleur inhabituelle diffusée comme un éclair », expressions utilisées tant par les critiques que par les disciples pour raconter ce qu'ils avaient vu. De la même manière, la violente controverse autour des Prophètes français discutait explicitement la possibilité de maintenir une pratique qui répandait des principes actifs à l'intérieur de la société. L'usage incontrôlé de telles puissances constituait un blasphème ou un danger : John Toland écrivit dans son *Adeisidaimon* (1709) que la « superstition monstrueuse et sauvage » était plus préjudiciable à la société que l'athéisme. Par ailleurs, il était tout aussi inacceptable

d'éviter l'usage des puissances actives, car cela relevait de l'athéisme lui-même[42]. La crise du contrôle social au XVIIIe siècle était donc étroitement liée à la cosmologie de la philosophie naturelle. « Le bruit des mers et la folie du peuple vont de pair dans l'Écriture », écrivait un apologiste tory en juin 1709, et on s'est souvent demandé si la philosophie naturelle réussirait à accomplir sa mission d'apaisement d'un tel orage. Les commentaires du physicien français Philippe Hecquet sont caractéristiques. Auteur d'un texte sur les épidémies de convulsion, mais également figure d'autorité sur la question de la condition des pauvres, il défendit en 1740 l'idée que « les pauvres font partie intégrante de l'ordre politique », alors que les « misérables » sont toujours susceptibles de provoquer des épidémies et des révoltes. Le problème, avant l'avènement de la philosophie naturelle, était, par exemple, de savoir comment décrire les puissances de la nature sans déchaîner les puissances à l'intérieur de la société[43].

L'institution d'un système de contrôle de ses propres praticiens constituait donc une évolution nécessaire pour la survie de la philosophie naturelle. Cela était la conséquence des nombreuses déclarations sur l'effet des conférences et de leurs expérimentations, et sur les implications des leçons tirées par le public de tels effets. Westrum a montré comment un tel système fonctionnait dans le traitement par les philosophes naturels des récits de météorites à cette époque ; on pourrait également citer des exemples tirés de la réaction des différents publics à l'annonce que des comètes étaient sur le point de s'écraser sur la Terre, comme l'annonce faite par Lalande dans les années 1770 à Paris[44]. À la même période, la philosophie naturelle rencontrait des difficultés pour instituer de tels systèmes, précisément à cause de ses propres relations au public. Heilbron a discuté le fait que « les démonstrations publiques

devenaient trop populaires », notant les attaques faites par Kästner en 1799 sur les publics qui souhaitaient « voir la physique, et non apprendre quoi que ce soit à son sujet », ou les commentaires d'auteurs reconnus comme Gamaches :

> Ils ont beau assembler leurs amis et s'électriser tous ensemble avec tous les meubles […] on ne voit pas que cela les avance vers la cause de l'électricité [45].

Les plus prestigieux défenseurs de la philosophie naturelle expérimentale au milieu du siècle étaient peut-être William Watson en Angleterre et Nollet en France. Leurs travaux démontrent combien était complexe la tâche de trier entre la philosophie naturelle autorisée et légitime d'une part, et les pratiques radicales et enthousiastes d'autre part.

Nollet était le principal conférencier public de son temps. La mode des conférences à Paris avait commencé au siècle précédent avec les travaux de Rohault et de ses imitateurs, Régis, La Polinière et Geoffroy. Dans le contexte de ces conférences, comme l'ont montré Brockliss et d'autres, aucune division claire entre récits cartésiens et newtoniens n'a jamais existé à proprement parler. C'est bien plutôt l'émergence d'une pratique de la physique expérimentale qui dominait l'enseignement en France. La prééminence de Nollet fut entérinée par la publication de son *Programme ou idée générale d'un cours de physique expérimentale* (1738), par sa succession au siège de son rival Privat de Molières à l'Académie royale des sciences en 1742 et par son installation au collège de Navarre en 1753 [46]. Le succès de Nollet était étroitement lié à son usage des démonstrations électriques : en 1734 il accompagna Dufay à Londres, où il rencontra Desaguliers, et il rendit visite à

Musschenbroek à Leyde en 1736. Il construisit ses propres instruments et développa ainsi une clientèle rentable parmi son public et ses collègues, parmi lesquels Réaumur, Voltaire et Le Monnier. Pour Nollet, la philosophie naturelle était étroitement liée à la reproduction du spectacle de la nature :

> Le tonnerre est, entre les mains de la Nature, ce que l'électricité est entre les nôtres […] les merveilles dont nous disposons à présent à notre gré sont de petites imitations de ces grands effets qui nous effrayent et […] tout dépend du même mécanisme[47].

De la même manière, en utilisant des microscopes solaires, le planétarium de Graham et Desaguliers, d'énormes aimants, et ses fameuses démonstrations des effets de la bouteille de Leyde sur des rangées de gardes ou des moines cartusiens (« l'électricité foudroyante »), Nollet fut capable d'étendre l'éventail de ses démonstrations pendant les années 1740[48]. Quand, pendant les années 1750, il fut forcé de prendre position face à Franklin et à ses disciples au sujet d'interprétations contradictoires des phénomènes électriques, Nollet insista sur la facilité d'effectuation et sur la puissance de l'électricité. Il affirma qu'il était possible, au moyen d'un arrangement de conducteurs électriques et de fils de lin, d'obtenir « une image sensible de l'atmosphère [que le fluide électrique] forme autour du corps électrisé[49] ». En outre, au moment précis où Benjamin Martin initiait John Robison, Matthew Boulton et Thomas Young à la philosophie naturelle, Nollet instruisait Lavoisier et Monge, et encourageait ses disciples Sigaud de La Fond, Brisson et Sigorgne à devenir conférenciers. Finalement, Nollet agissait dans l'arène étroitement contrôlée de l'instruction française.

Il allait être aidé dans ce processus par l'expulsion des jésuites dans les années 1760 et par la « police générale des collèges » encouragée par Guyton de Morveau en 1764[50].

Les activités de contrôle de Nollet lui-même incluaient inévitablement l'électricité médicale. En 1746, il entendit parler des effets impressionnants de la bouteille de Leyde et s'empressa de les appliquer à la thérapie médicale. En avril il annonça certains de ses résultats à l'Académie, à Pâques il collabora avec les membres de l'Académie royale de chirurgie sur la question de l'électrification des paralytiques, et en août il publia son *Essai sur l'électricité des corps*. C'est à la fin des années 1740 que les problèmes de ce programme apparurent : Nollet se trouva incapable de reproduire des « guérisons » qui avaient eu lieu à Genève selon les récits de Jallabert, et en Italie selon Pivati, Verati et d'autres. C'est ainsi qu'à l'été 1749 Nollet alla en Italie pour vérifier si l'atmosphère « particulière » du pays pouvait être responsable des succès rapportés. Ces « guérisons » impliquaient l'utilisation d'*intonacatores* ou verres médicaux, dans lesquels des substances, sous forme de baumes, étaient censées être transmises à travers le verre par le fluide électrique, pénétrant ainsi le corps du malade. Aucune expérience ne fut réussie en présence de Nollet, et sa réfutation de ces « charlatans » fit beaucoup de bruit. Surtout, et c'est un point crucial, Nollet expliqua ces échecs par le recours à l'état du public et du malade. Il parla des

> deux serviteurs, l'un ayant dissimulé pendant un certain temps à M. Nollet le fait qu'il avait pris du bouillon avec de la réglisse, l'autre ayant témoigné d'un tel goût pour le merveilleux qu'il était sage de mettre en doute chacune de ses paroles […] Il déclara qu'il refusait de recevoir les

> enfants, les serviteurs ou les gens de basse condition, et qu'il n'accepterait que les personnes responsables[51].

Dans son entreprise de destruction de ces « ombres éphémères », Nollet développa une certaine compréhension des

> erreurs des malades, qui, parce qu'ils ont des idées préconçues en raison peut-être d'un trop grand espoir, et qu'ils sont possédés d'une sorte d'enthousiasme, ont dit et ont fait croire aux autres davantage que ce qui s'est vraiment passé[52].

Cette approche était la ressource la plus fréquente des philosophes naturels : les déficiences du public et son influençabilité, qui expliquaient le succès de la philosophie naturelle, pouvaient aussi justifier ses échecs et leurs pathologies. Une fois encore, la contagion de la superstition et de l'enthousiasme a affecté le statut du témoignage en philosophie naturelle. L'élève de Boerhaave, Jerome Gaub, rédigea des travaux sur l'influence de ces phénomènes mentaux sur le comportement physique. En 1785, Martin van Marum, grand manipulateur d'électricité hollandais, déclara que,

> à chaque fois qu'une accélération importante du pouls d'une personne électrifiée a été observée, cela était dû, dans la plupart des cas, à de la peur de la part de la personne concernée.

Dans sa critique du mesmérisme, Jean Sylvain Bailly déclara que « nos expériences ne nous permettent de découvrir que le pouvoir de

l'imagination ». C'est à une conclusion similaire qu'aboutit le ministre Breteuil, dépeint par l'organisateur de la Société royale de médecine Vicq d'Azyr comme « le fléau des charlatans[53] ». Dans le même temps, il était bien entendu également possible pour Jussieu d'utiliser des arguments de philosophie naturelle pour « contrer ceux qui rendent l'imagination responsable de tout », et pour Antoine Servan de répondre à cette découverte « d'une nouvelle science […] de l'influence du moral sur le physique » en déclarant que « les phénomènes physiques et moraux que j'admire tous les jours sans les comprendre sont causés par le même agent[54] ».

C'est ainsi que les raisons mêmes du succès de la philosophie naturelle ont pu devenir des obstacles. En Angleterre, des problèmes comparables eurent lieu. William Watson, le principal spécialiste de l'électricité à la Royal Society dans les années 1740 et 1750, consacra beaucoup d'énergie à tenter de distinguer la véritable philosophie naturelle de ses copies fallacieuses. Il utilisa les résultats de Nollet pour condamner les Italiens, et demanda à Winkler (qui avait étudié l'ignition électrique de l'alcool) d'envoyer des verres hermétiquement fermés de Leipzig qui devaient prétendument se comporter comme des tubes thérapeutiques. Aucun d'entre eux ne fonctionnait, comme le signala Watson à la Royal Society, et Henry Miles raconta avoir essuyé de semblables échecs avec des *intonacatores* qu'il avait trouvés chez un négociant en commerce maritime. Watson se montra tout aussi virulent au sujet des démonstrations de G.M. Bose, qui prétendait pouvoir produire la « béatification » de certains membres du public (comme le prétendit Rackstrow également), en installant un cobaye « sur un grand piédestal, et peu à peu une flamme monte du piédestal et se propage ». Watson découvrit que Bose utilisait en réalité « une

armure complète renforcée de nombreuses barres d'acier », et qu'il avait dissimulé ceci « à tous mes amis et correspondants ».

Par ailleurs, quand il rapporta à la Royal Society les idées de Benjamin Franklin, Watson fut très impatient de leur raconter la preuve définitive que Franklin avait apportée de l'impossibilité d'utiliser des verres thérapeutiques pour soigner les malades[55]. Il apparaît désormais, grâce à de récents travaux, que les théories de Franklin ne constituaient pas le succès inévitable qu'on a trop souvent supposé. L'« histoire frankliniste » a laissé place à une attention aux relations d'influence qui ont provoqué les réactions de Buffon, Réaumur et Nollet en France. L'historiographie a également permis de situer plus clairement Franklin dans le contexte de la philosophie naturelle et des recherches sur l'électricité en Allemagne. On comprend mieux désormais comment la structure des anciennes académies scientifiques comme celles de Berlin, Paris et Saint-Pétersbourg a imposé une rupture entre la philosophie naturelle et l'électricité mathématique d'Aepinus et de Coulomb[56].

La réponse même de Nollet à l'attaque de Franklin franchit donc la délicate limite entre l'attrait des démonstrations expérimentales et sa prétention à un statut élevé dans l'Académie. Nollet déclara à Franklin :

> Je me suis bien moins appliqué à produire des effets surprenants et capables de faire spectacle qu'à étudier les circonstances de ceux qui étaient déjà connus.

Son but était, semble-t-il, d'éviter une « admiration oisive ». Cependant, il déclarait en 1753 :

> Je suis bien éloigné de blâmer ceux qui, ne pensant pas comme moi, s'occupent à rendre les expériences brillantes ou même effrayantes et à soutenir l'admiration des curieux qui prennent part à ces découvertes […] L'électricité devient par là plus intéressante ; le nombre des amateurs augmente[57].

En somme, les philosophes naturels pouvaient légitimement utiliser leur maîtrise des puissances actives de la matière pour construire un théâtre, avec tout ce que cela impliquait d'attraits et de dangers. L'image théâtrale était une analogie fréquemment utilisée pour le monde à explorer. Les disciples de Linné parlaient du « théâtre de cette vie », et évoquaient le naturaliste par l'expression « l'œil et l'esprit de la Terre, attentif à contempler avec émerveillement l'économie du Créateur ». Ils soulignaient le fait qu'« on trouve en l'homme deux propriétés dont les autres animaux sont dépourvus : l'émerveillement et le langage ». Oliver Goldsmith mentionne dans son *Histoire de la Terre* (1774) que le théâtre de la philosophie naturelle équivalait à la vision par Dieu de « cet être qu'il a créé, et qui transforme la détresse de sa situation naturelle en un théâtre triomphant ». Pour le philosophe écossais Thomas Reid, il existe un lien étroit entre les pouvoirs de la matière, le divin et le théâtral. « Dans le théâtre de la nature nous voyons d'innombrables scènes qui nécessitent l'action d'un agent doté d'une puissance active ; mais cet agent est derrière la scène. » Reid affirmait : « Dans cette pièce, la nature est l'acteur et nous sommes les spectateurs[58]. »

C'est la place occupée par les philosophes naturels dans un véritable théâtre qui les distinguait des autres acteurs du XVIII^e^ siècle ; Benjamin Martin le souligna en rapprochant ses conférences, le théâtre et sa philosophie naturelle :

> J’ai exposé ma philosophie au moyen de conférences et de remarques […] le lecteur se trouve ainsi guidé à travers un système de philosophie sans être confiné à l’étroitesse d’un seul parcours précis […] La diversité des choses qui se présentent ici d’elles-mêmes donne le plaisir de la variété, encore accru et augmenté par le fait que ces choses apparaissent neuves à ses yeux alors qu’il passe devant elles, et qu’elles le comblent de choses encore inouïes et inconnues. Les remarques ressemblent aux dénouements des scènes dans une pièce : elles présentent l’ensemble agréablement divisé en parties, ce qui nous touche plus immédiatement et nous donne le plus grand plaisir et divertissement[59].

Ainsi, dans ce « théâtre », la philosophie naturelle peut mettre en scène son pouvoir naturel et moral. Examinons un exemple de l’utilisation de ce théâtre.

Tremblements de terre et électricité

En mars 1750, Horace Walpole décrivit les tremblements de terre qui frappèrent Londres à cette période comme de « merveilleuses occasions ». Quand Sir William Hamilton revint de Venise à Londres en 1783, Walpole plaisanta en ces termes : « Il ne sera pas trop en dehors de son élément, car nous avons de mini-tremblements de terre, pas mal de dégâts dus à la foudre, et de très respectables météores[60]. » Laurence Rondet écrit de Paris en 1776 que

> notre siècle est connu pour les épidémies de toutes sortes qui ont accablé le genre humain ; encore aujourd'hui, depuis le milieu du siècle, nos journaux sont remplis de révolutions dans la nature, de désastres, de calamités et de malheurs.

Quant à John Wesley, il note dans son journal que les tremblements de terre de Londres en 1750 ont eu des effets salutaires : « Aujourd'hui, Dieu a donné au peuple un second avertissement. » Walpole remarqua de façon plus acerbe que

> toutes les femmes de la ville ont pris ces tremblements de terre pour des annonces de Jugements ; et le clergé, qui n'a pas eu une telle aubaine depuis longtemps, a fortement encouragé cette opinion.

Mais Walpole souligna surtout la fonction scientifique d'un tel spectacle. Après le tremblement de terre, il nota une recrudescence de « sermons, essais, récits, poèmes et exhortations sur le sujet ». De nombreuses théories sur les puissances actives à l'œuvre dans ce phénomène apparurent, mais en même temps

> ils tiennent tous à assurer, après avoir exposé les conditions du tremblement de terre de façon systématique, qu'il ne s'agissait de rien d'autre que d'un *jugement*[61].

En réalité, le XVIII^e^ siècle n'était pas plus inquiété que les autres siècles par les désastres et les spectacles naturels. Il était simplement plus à même d'en apprécier la signification. Des recherches récemment menées en France ont attiré l'attention sur le climat et la conscience pré-révolutionnaire dans les années 1780. Je m'attache

ici à rapprocher ces désastres, et notamment les tremblements de terre, des types de pratiques décrits plus haut. Car ces catastrophes naturelles s'ajoutaient aux merveilles naturelles mises en scène dans le théâtre de la philosophie naturelle, et posaient de façon aiguë tous les problèmes liés à ce théâtre. En outre, le traitement de tels spectacles nous permet de tracer les frontières d'un autre type de carte des phénomènes naturels. L'existence de pratiques liées au climat, à la météorologie, à l'atmosphère et à l'électricité est occultée par des préconceptions historiques concernant la véritable cartographie des savoirs. Pour la philosophie naturelle, ce complexe de phénomènes atmosphériques agit comme un théâtre du pouvoir plus vaste et plus impressionnant, autant que comme un espace dans lequel une nouvelle économie de la connaissance et du contrôle pouvait être mise en place. La crise qui se développa à la fin du siècle rendit ce système policier nécessaire. Entre les dures conséquences du désastre et la possibilité d'une police médicale de l'environnement, la philosophie naturelle avait sa place [62].

Une source importante de ce complexe savoir atmosphérique était l'œuvre de savants d'Oxford décrits par l'historien Robert Frank. Des hommes comme Martin Lister, Robert Plot et John Mayow avaient réuni leurs analyses de l'air atmosphérique et l'étude des principes vitaux, du salpêtre météorologique et du principe vital de la respiration. En exploitant de telles idées, Flamsteed proposa une théorie des tremblements de terre qui liait le nitre actif et les explosions [63]. Dans son *Vegetable Staticks* (1727), Stephen Hales avait suivi son travail sur ce qu'il décrit comme étant « un cycle continuel de production et de dissolution des corps animaux et végétaux », associé à une nouvelle conception du rôle des puissances actives dans ce schéma. Dans les travaux de Hales, comme dans ceux de Clarke, Newton et Lister, des agents particuliers étaient identifiés

comme principes actifs à l'intérieur de la Terre et donc de son atmosphère, et les tremblements de terre et autres phénomènes météorologiques étaient interprétés comme des conséquences de ces puissances. Hales décrivit la violente réaction de l'*aqua fortis* sur les pyrites en des termes empruntés à l'investigation newtonienne, et assimila ainsi cette conception de l'air atmosphérique à une vision générale de l'économie naturelle de telles puissances, que le philosophe naturel pouvait réunir et expliquer[64]. Cette « théorie des tremblements d'air » était séduisante dans la mesure précisément où elle utilisait les leçons de la philosophie naturelle des principes actifs, et parce qu'elle s'appuyait sur des phénomènes dramatiques, tout en les reliant au principe divin. Même les démonstrations sur la succion des fluides élastiques dans le vide, menées par Denis Papin, pouvaient constituer une preuve de la puissance nécessaire à la production d'une agitation sur la surface de la Terre[65].

> Je suis conscient du fait qu'il peut paraître improbable que des vapeurs sulfureuses ascendantes dans la Terre pourraient s'enflammer ; mais puisqu'elles montent continûment à travers les portes de la Terre, le plus souvent pour de bonnes et utiles raisons, il est clair qu'elles ont de la place pour passer[66].

À l'évidence, cet usage des puissances actives allait être associé à deux autres domaines voisins de la philosophie naturelle. D'une part, l'attention portée aux puissances de la matière dans l'atmosphère allait permettre de faire le lien avec l'étude de la fonction de cette « économie aérienne » dans la croissance organique et pneumatique des plantes et des animaux ; d'autre part, l'activité de ces puissances actives allait être automatiquement associée à

l'activité électrique. Ces connexions étaient le fait de groupes tels que la Société pour les études mathématiques et électriques (qui incluait Canton, Watson et Ellicott), le cercle autour de Sir John Pringle, ou le Club des honnêtes whigs, auquel Franklin et Priestley étaient associés[67]. Les premières recherches de Priestley sur l'électricité rapprochaient la science pneumatique de l'activité électrique dans l'air méphitique ; la démonstration du caractère électrique de la foudre, le spectacle atmosphérique par excellence, fut également importante[68]. Des commentaires tels que ceux envoyés par Thomas Harmer, électricien dans le Suffolk, à John Canton, montrent que les idées de Franklin sur la foudre se répandirent rapidement et pouvaient être aisément assimilées à la pratique de la philosophie naturelle. Harmer mentionne une histoire de Meric Casaubon sur le « miracle » de la cathédrale de Wells, où la foudre avait inscrit le signe de la croix sur des membres de la congrégation en frappant le toit de la cathédrale. « J'aurais espéré que l'évêque ne soit pas si préoccupé par cette merveille, et que nous ayons eu plus de précisions sur la forme de la croix, la nature de l'inscription, etc. », aurait dit Canton[69]. C'est ainsi que les « merveilles » de l'électricité atmosphérique, discutées à la fin des années 1740, ne faisaient qu'affirmer le rapport entre la pneumatique, la météorologie, l'électricité et la médecine. Dans les années 1770, en effet, des autorités telles que Bertholon et Sigaud de La Fond suggérèrent d'utiliser des fils électriques pour diffuser des charges électriques dans la Terre et ainsi prévenir les tremblements de terre[70].

Pendant les années 1770, le débat public sur les fils électriques se concentra sur ce point : alors que Franklin et Priestley affirmaient que les pointes étaient la meilleure protection possible, en accord avec le Club des honnêtes whigs, leurs opposants, comme Benjamin

Wilson, tentaient de monopoliser le soutien ministériel, par l'intermédiaire du duc d'York, pour l'utilisation de balles de cuivre. Pendant les années 1770 notamment, le débat faisait rage autour de la question des magasins de poudre à Purfleet, avec par exemple des démonstrations spectaculaires des effets de la foudre sur les fils, par l'utilisation d'impressionnants modèles construits par Benjamin Wilson. Le spectacle de ces expériences, joué devant le roi, était mis en rapport avec l'idée de l'influence politique exercée par les électriciens, et pourrait avoir précipité la démission de John Pringle de son poste de président de la Royal Society. Ces luttes spectaculaires, appuyées par l'utilisation de modèles de l'arsenal, ne firent que souligner la place problématique d'une philosophie naturelle si attractive[71].

Les tremblements de terre qui secouèrent Londres au printemps 1750 constituèrent l'occasion parfaite pour la démonstration de la faculté qu'avait la philosophie naturelle à expliquer les prodiges[72]. Lors de ces événements, la relation problématique entre les fonctions théologiques et populaires de la philosophie naturelle fut éclairée. Le tract rédigé par l'évêque de Londres sur la leçon morale à tirer des tremblements de terre fut distribué aux pauvres par milliers d'exemplaires. Les frasques royales furent annulées. Un « prophète militaire » fut chargé d'instiller la terreur. William Stukeley enregistra un public record au débat sur les tremblements de terre tenu à la Royal Society, dans lequel il prit une part importante. David Hume semblait plus sceptique :

> Je pense que les prêtres ont utilisé les médecins de bien mauvaise manière ces derniers temps, car les deux professions avaient l'habitude de tirer profit des anciennes terreurs de l'humanité ; mais pour les nouvelles peurs liées

> aux tremblements de terre, les médecins ont été totalement laissés pour compte, et les prêtres seuls ont prétendu pouvoir indiquer à la multitude la marche à suivre. J'ai vu une lettre pastorale signée de l'évêque de Londres dans laquelle il recommande certaines pilules qui proviennent entièrement de son propre magasin.

Le tremblement de terre, en tant que « marchandise », était suffisamment spectaculaire pour devenir un objet de compétition entre groupes rivaux : philosophes naturels, religieux, millénaristes, journalistes. Le principal candidat dans le domaine de la philosophie naturelle était la théorie du tremblement d'air électrique développée par William Stukeley à la Royal Society, et publiée sous le titre *La Philosophie des tremblements de terre*. La lettre de Flamsteed à Newton de 1695 avait été publiée, et Stephen Hales avait fait paraître un résumé de certaines des idées qu'il développait dans son *Vegetable Staticks*. Mais alors que Hales considérait l'électricité comme une conséquence des tremblements d'air, Stukeley lui donnait une place de choix. Comme l'explique Walpole,

> un certain Stukeley, un pasteur, explique ce phénomène, fort bien me semble-t-il, par l'électricité. Mais c'est l'explication à la mode, et tout est résolu par des apparitions électriques.

C'est dans ce contexte que Stukeley imprima son propre résumé de l'histoire électrique afin de prouver son originalité : la propriété des tremblements de terre suscita des disputes entre les philosophes naturels aussi bien qu'entre eux et les professions rivales[73].

La carrière de Stukeley fut extraordinaire jusqu'en 1750 : en 1729, l'archevêque Wake l'avait encouragé à prendre les ordres, au

motif que

> rien ne peut davantage rabattre leur orgueil [celui des athées] et arrêter leur prévalence que de voir la Chrétienté défendue par ceux qui sont aussi éminents dans le domaine du savoir naturel et de l'investigation philosophique, qu'eux-mêmes prétendent l'être.

De ce fait, Stukeley pourrait être plus utile à l'Église que « quelqu'un qui aurait été élevé dans la religion depuis le début[74] ». Le principal ouvrage de Stukeley (sur les antiquités britanniques, les druides, Stonehenge) avait pour objectif affiché un tel but, et il condamna avec véhémence le président de la Royal Society, Martin Folkes, en 1741, qui l'avait traité d'« infidèle égaré et de plaisantin[75] ». De cette manière, les tremblements de terre lui fournirent une excellente occasion de démontrer l'efficacité de la philosophie naturelle, lorsqu'elle est utilisée dans le domaine moral. Mettant ainsi à profit la preuve apportée par le « beau discours » de Benjamin Franklin en novembre 1749, Stukeley défendit l'idée que le tremblement de terre était une conséquence directe d'un choc électrique important : l'intéressante démonstration que Franklin offrit de tels effets, en utilisant des balles de moelle pour représenter les nuages électrifiés, ajouta de la crédibilité à cette hypothèse. En outre, Stukeley était capable de convoquer les aspects météorologiques et médicaux de l'activité électrique. La clarté de l'air, les boules de feu et les météores, les douleurs de poitrine et de tête ressenties pendant le tremblement de terre, le cas de femmes qui avaient recouvré l'ouïe – tous ces exemples confirmaient son récit. Dans la plus longue de ses nombreuses publications sur le sujet, Stukeley s'assura que le message moral de cette philosophie

naturelle serait entendu chez lui : « Nous pensons que l'Auteur de la Nature a répandu le feu éthéré dans toute la matière […] C'est le feu occulte diffusé dans l'univers. » L'*Optique* de Newton comme le *Siris* de Berkeley pouvaient être cités comme preuves. Toutefois, Stukeley soulignait que, bien que l'électricité pût être considérée comme la seule cause générale, cela ne devait pas limiter l'entendement de son public. Bien au contraire, alors même que Stukeley décrivait en détail comment un déséquilibre électrique pouvait être produit entre les nuages et la terre, capable de déclencher un tremblement de terre, il reconnaissait le nécessaire inachèvement de son cours s'il n'était complété par la bonne attitude morale de la part de son public :

> Mais sans doute n'y a-t-il pas une once de chair qui n'est pas affectée par un choc si terrible. Proposez à un homme de mesurer sa propre puissance à celle qui cause un tremblement de terre, et il sera persuadé que quelque chose d'extraordinaire est visé par un mouvement si rare et merveilleux[76].

Arrivé à ce point de son exposé, Stukeley faisait directement appel à la notion classique en philosophie naturelle d'« économie naturelle » :

> Pouvons-nous nier que cela signifie une nature consciente et intelligente qui préside à toute chose et dirige toute chose […] une nécessité divine mais un agent volontaire qui fait un signe de tête à ce qu'on nomme communément la nature, l'instrument principal des plus importantes opérations de la vaste machine du monde, autant que des plus ordinaires.

Stukeley déclarait explicitement que la nature agissait selon une économie des puissances, visible dans l'atmosphère et sous le contrôle de Dieu. Si cela ne privait pas le Seigneur de son autorité directe, cela permettait au philosophe naturel de prétendre à une place assez privilégiée dans le domaine de la moralité :

> Lorsque nous étudions et mettons à l'épreuve les affections de la matière, nous devrions progresser en philosophie à proprement parler ; nous devrions élever nos esprits loin de ces merveilles terrestres et discerner les messages célestes qu'elles nous offrent […] Le mot « philosophie » fut d'abord appliqué, fort justement, à la sagesse morale ; nous qui avons progressé dans les deux domaines, devrions les associer. Nous pouvons par ce moyen connaître la vérité de la plus grande et la plus belle philosophie […] d'autant plus dans un pays où les principes de la religion véritable sont ouverts et connus, où en faire profession est rationnel, noble et digne de louange ; digne du gouverneur moral du monde[77].

L'ambiguïté de cette prétention à l'autorité de la part du philosophe naturel n'était que trop claire. John Wesley, en réaction au tremblement de terre de Lisbonne en 1755, bien plus meurtrier, accusa les « tremblements d'air » d'être absurdes, expliquant que la nature n'était « rien d'autre que l'art de Dieu[78] ». En Nouvelle-Angleterre, cette opinion fut fort bien reçue, et le révérend Thomas Prince accusa John Winthrop de s'intéresser aux causes secondaires, au motif que cela écartait les hommes de la moralité, et risquait de les « condamner à une ruine éternelle[79] ». Ainsi, la philosophie naturelle remportait un certain succès lorsqu'elle proposait une théorie rationnelle des catastrophes naturelles rattachée à un

modèle plus général d'une économie des puissances du monde ; mais ce succès était aussi à l'origine d'une certaine méfiance de la part des ecclésiastiques.

Les réactions suivantes face aux tremblements de terre et à l'électricité se firent l'écho de ces inquiétudes : le besoin de construire des modèles spectaculaires de l'activité des tremblements de terre ; la connexion entre cette activité et les puissances atmosphériques ; l'insistance sur les enseignements divins qui pouvaient être tirés d'une telle compréhension. Beccaria (1753) se servit des vibrations de morceaux de verre attachés à une feuille d'or électrifiée pour illustrer les principes des tremblements de terre ; Sigaud de La Fond et Brisson, disciples de Nollet, illustrèrent leurs conférences avec un équipement similaire, alors que l'*Encyclopaedia Britannica* republiait des théories qui mettaient en rapport les tremblements de terre et « le feu élémentaire de la lumière du Soleil ». Dans son *Traité complet d'électricité* (1777), Tiberius Cavallo décrit une maquette en ivoire d'une ville entière qui subit un « tremblement de terre » en miniature quand elle est connectée à deux fils, expérience que réalisa le professeur de philosophie à Pavie Carlo Barletti[80]. Mais le plus spectaculaire de ces modèles de tremblement de terre fut sans doute décrit par Joseph Priestley dans son *Histoire de l'électricité* (1767) :

> Satisfait par cette ressemblance avec un tremblement de terre, j'entrepris d'imiter d'autres aspects de cet impressionnant phénomène naturel ; et, alors qu'il gelait, j'ai pris un morceau de glace et y plantai deux bâtons d'environ trois pouces [8 cm] afin qu'ils soient fermement plantés ; et sur une autre partie de la glace je plaçai une bouteille, avec une bille de plomb suspendue au bouchon par un fil fin. Puis,

> faisant passer l'éclair électrique sur la surface de la glace, ce qui fit grand bruit, le premier pilier s'effondra alors que le second resta debout ; et la bille, qui pendait presque immobile, se mit immédiatement à produire des oscillations d'environ un pouce de long et presque en droite ligne par rapport à l'endroit de l'explosion[81].

Ensuite, Priestley utilisa d'autres piliers et d'autres pendules, plantés dans un bac d'eau censé représenter l'océan : « Voilà une excellente expérience ! » Ce modèle réduit suggéra à Priestley qu'il devait y avoir des erreurs dans la théorie de Stukeley (qui avait fait l'hypothèse que les tremblements de terre sont produits à partir de décharges de nuages non électriques sur la Terre électrifiée) et de Beccaria (selon lequel l'électricité se déplace des parties les moins électrifiées de la Terre vers les plus électrifiées). Priestley fit alors l'hypothèse que l'électricité pourrait être déchargée dès la surface, auquel cas il serait possible de prévenir les tremblements de terre « au moyen de cerfs-volants qui seraient placés très haut et équipés de fils électriques[82] ».

Cette interprétation des tremblements de terre n'était bien sûr qu'un élément d'une théorie générale des phénomènes atmosphériques. Les autres projets de Priestley dans le domaine de l'air et de l'électricité en sont une illustration, comme l'a montré McEvoy[83]. Le modèle qui interprétait les puissances de la nature comme des exemples de l'action divine fonctionnait en harmonie avec le modèle dans lequel toute l'atmosphère pouvait être considérée comme une seule économie naturelle, et dans lequel chaque type d'« air » pouvait être utile. À leur tour, ces modèles étaient complétés par une épistémologie dans laquelle la réponse de l'observateur rationnel jouait un rôle central dans l'attribution de la

signification du système découvert par le philosophe naturel. C'est là que la théorie de l'association d'idées de David Hartley jouait son rôle. Priestley concluait la préface de son *Histoire de l'électricité* par une citation de Hartley décrivant l'idéal épistémologique et moral auquel un philosophe naturel devrait aspirer[84] :

> Quand la quête de la vérité est dirigée par ce principe supérieur, et accomplie en songeant à la gloire de Dieu et au bien de l'humanité, il n'y a pas d'occupation plus digne du philosophe naturel, et plus à même de permettre sa purification et sa perfection.

Il affirmait ainsi que l'approche la plus valable de la nature était étroitement liée à l'avenir moral du philosophe naturel et, sans doute, de son public. De fait, pour Priestley, le progrès de la connaissance était inséparable du progrès moral. Cette conception de l'histoire philosophique commença comme un complément à l'attrait de son public pour la philosophie naturelle. Dans cette histoire philosophique, selon Priestley,

> on voit l'entendement humain à son avantage, capable de saisir les plus nobles objets et d'accroître ses propres puissances par l'acquisition des puissances de la nature, et par leur utilisation dans l'accomplissement de ses propres buts[85].

C'est ainsi, comme l'a montré McEvoy, que Priestley commença à écrire ses histoires de l'électricité, de l'optique et, comme il l'avait prévu, une histoire générale de la philosophie naturelle.

Cependant, ce programme comportait des problèmes fondamentaux pour la survie de la philosophie naturelle. Nous avons déjà évoqué deux directions dans lesquelles ces problèmes pouvaient se développer. Tout d'abord, l'attrait que la philosophie naturelle exerçait sur son public constituait également sa faiblesse. Rousseau décrivait le programme de Nollet en ces termes : « l'art d'arranger agréablement les bomborions » ; Nollet lui-même était conscient du risque

> de pousser son étonnement jusqu'au désespoir, de se persuader et d'inspirer aux autres qu'une recherche qu'on ne veut ou qu'on ne peut pas faire soi-même, est au-dessus de l'esprit humain[86].

Deuxièmement, la question du contrôle du public devint de plus en plus urgente au cours du siècle. Le modèle des puissances actives énergiquement mises en scène ne correspondait pas exactement au modèle d'une économie de la nature, et l'appel à la sensibilité du public ne correspondait pas au besoin d'étendre le contrôle sur ce public. Dans la section suivante, nous examinerons donc ces contradictions dans les termes de l'économie atmosphérique et de ses relations avec la police sociale, et avant tout avec la police médicale de l'environnement et son développement thérapeutique.

Météorologie et police médicale

Nous avons montré qu'à l'intérieur du savoir scientifique du XVIII[e] siècle on trouvait des modèles d'explication de l'environnement

complémentaires mais pas totalement homogènes. En dehors des académies scientifiques, ces modèles faisaient appel aux puissances actives visibles dans la nature et à l'économie de l'ordre naturel. L'utilisation de tels modèles se développa pour la description du globe pendant le siècle : les textes de James Hutton sont de très bons exemples de ce phénomène[87]. Mais en même temps, la relation entre ces modèles était problématique. L'histoire naturelle et la philosophie naturelle ne se complétaient pas nécessairement et ne s'adressaient pas non plus nécessairement au même public. L'idée d'une « police de la nature » fut découverte par les historiens de la nature chez Linné. Dans l'économie de la nature, les linnéens décrivaient une police qui régulait et contrôlait dans le détail le comportement et la fonction des puissances vivantes. Dans cette « police de la nature », semblait-il, « Dieu souhaita que toute fonction soit accompagnée d'un intérêt dans une juste proportion de travail et de profit ». On affirmait qu'il y avait une

> police nécessaire dans le royaume de la nature : en effet, un royaume sans gouvernement, sans ordre et sans contrôle se précipiterait jour après jour vers sa perte. Dans un État, on nomme police l'organisation et l'administration justes[88].

Cette idée fut assimilée par des philosophes naturels tels que Richard Pulteney ou Marmaduke Berdoe, par des médecins et des linnéens, pour lesquels, comme l'explique le médecin James MacLurg,

> la contemplation de ces énergies actives et subtiles a élargi notre vision et a détourné notre attention des principes de la

> mécanique et de la chimie, à laquelle elle était auparavant trop servilement attachée[89].

En théorie, le problème était clair : l'attrait de la philosophie naturelle dépendait de l'expérience directe des puissances actives, qui n'étaient pas directement accessibles par l'expérience générale du monde vivant.

Lorsque c'était possible, on s'attachait à des cas de puissances actives – les plus évidents étant les vives, le poisson torpille, ou le polype de Trembley. Les monstres de l'histoire naturelle classique jouaient le rôle de puissances actives dans le domaine « de la mécanique et de la chimie ». De tels exemples permettaient de montrer les puissances actives présentes et visibles, ou visualisables dans l'atmosphère, comme dans l'expérience des pneumatiques. Mais le but méthodologique était de montrer une économie autrement invisible, ce qui convenait mal à la fonction de démonstration publique. À la fin du XVIII^e^ siècle, cet état de fait est révélateur d'importantes tensions structurelles, comme celles révélées par Theodore Brown dans l'intérêt de la médecine anglaise pour le vitalisme (qu'on attribue à la perte de l'autorité professionnelle) et illustrées dans le travail de William Heberden et d'autres en 1760. De telles tensions sont également illustrées par l'opposition, à l'intérieur de la Royal Society, entre les disciples de Joseph Banks et ses opposants parmi les mathématiciens et les astronomes[90]. Lorsqu'il commente ces différences dans son texte fondateur *De l'interprétation de la nature* (1753), Diderot déclare que, dans l'histoire naturelle,

> il n'y a point de charlatanerie dans leurs procédés. Ils tendent à leur but, sans se soucier de ce qui les environne : s'ils nous

surprennent, ce n'est point leur intention[91].

Ainsi, les procédés de l'histoire naturelle, et leur rôle implicite, étaient pour ainsi dire inutiles pour la philosophie naturelle parce qu'ils ne pouvaient être limités aux contraintes de cette pratique.

Le problème en termes politiques était également plus aigu à partir des années 1770. Il devenait de plus en plus évident que l'attrait de la philosophie naturelle ne garantissait pas son contrôle sur la société. Le système semblait procurer une représentation beaucoup plus subtile de la valeur positive de la structure sociale, comme dans le passage chez Quesnay d'une théorie de « la puissance motrice et directrice » à sa systématique de l'économie[92]. Pourtant, au cœur de cette forme, résidait une conception caméraliste de la police sociale et son extension à la médecine et à l'hygiène. Ici, le développement en philosophie naturelle d'une compréhension des puissances dans l'atmosphère s'est trouvé transposé en un schéma politique de police médicale.

Le caméralisme médical est un domaine d'étude bien exploré, de même que son rapport avec la météorologie au XVIII^e^ siècle. La « philosophie aérienne » de cette période impliquait une pneumatique qui était apparue dans les écoles médicales écossaises, ainsi qu'une obsession du temps pour l'air tel qu'elle est exposée par exemple dans *Humphry Clinker* de Tobias Smollett et dans d'autres enquêtes contemporaines sur les bénéfices comparés de l'air des villes et de l'air de la campagne. Le héros de Smollett, Matthew Bramble, va consulter le D^r^ Rice Charleton à Bath, au sujet de « l'impression passagère que des effluves fétides font sur des nerfs d'une rare sensibilité » ; c'est donc autour de ces notions de sensibilité, de philosophie aérienne et d'influence du climat sur la culture que se concentre cette pratique du contrôle médical et

social[93]. L'écrivain Sir John Pringle est représentatif de cette tendance : ses traités sur les fièvres observées à l'hôpital et en prison mentionnent la « corruption de l'air […] privé de ses éléments élastiques […] vicié par la matière respirable, qui, parce qu'elle est l'humeur la plus volatile, est aussi la plus putrescente ». De la même manière, le médecin dublinois et chirurgien de la marine David Macbride décrivit, en citant Hales et Pringle parmi ses sources,

> un principe dans la matière au-delà de ceux qui sont communément reçus ; et la fermeté, la solidité et la parfaite cohésion des corps dépendent principalement de ce principe constituant le ciment ou le lien.

Macbride et Pringle ont tous les deux compris les présupposés systématiques de leur usage de ces principes élastiques et actifs : Macbride soulignait que, « lorsqu'un animal ou une plante meurt, il n'est plus utile au système général […] il devient alors absolument nécessaire que sa structure soit dissoute ». Macbride comme Pringle ont directement influencé la propre réflexion de Priestley sur le système. Dans ses « Observations sur différents types d'air » (1772), Priestley mit en rapport ses recherches avec le problème de l'équilibre général des puissances :

> Étant donné cette incroyable consommation d'air faite par les feux de toutes sortes, les volcans, etc., l'étude des modifications dans la constitution de l'air constitue un excellent sujet d'investigation philosophique, tout comme la découverte des ressources de la nature pour compenser les dégâts causés dans l'atmosphère par ces phénomènes[94].

Dans son discours de remise de la médaille Copley à Priestley pour son œuvre, Pringle met en exergue la même leçon :

> Grâce à ces découvertes, nous sommes persuadés qu'aucune plante ne croît en vain, mais que, des chênes dans la forêt à l'herbe des champs, chaque plante est utile au genre humain. Et même si elle ne se distingue pas forcément par quelque vertu particulière, elle constitue cependant une partie du tout qui nettoie et purifie notre atmosphère […] Et si jamais ces vents violents et salutaires entraînent des orages et des tempêtes, reconnaissons cependant les signes des actions d'un Être bienveillant, qui agit non par hasard mais volontairement, non par colère mais par clémence, et précipite les eaux et l'air ensemble afin d'engloutir profondément ces effluves putrides et pestilentiels que les plantes qui poussent sur la surface de la terre n'ont pas réussi à effacer[95].

De fait, dans ses lettres à Jean André de Luc, qui travaillait sur les phénomènes atmosphériques en 1782, Priestley remarque que, dans cette hypothèse, « l'atmosphère originelle de la Terre » peut être étudiée comme ayant été « purifiée par la croissance des plantes qui, selon Moïse, ou suivant votre excellente théorie, ont été créées bien avant les animaux terrestres[96] ».

Ainsi, le développement d'un certain type de météorologie fut étroitement lié à une systématique de l'économie naturelle, à la vitalité qui circulait dans cette économie et à la purification de l'atmosphère par cette circulation. L'alliance délicate entre le philosophe naturel et le médecin se répartissait selon cette frontière. Comme Roger Cooter l'a montré, l'atmosphère allait devenir une

forme symbolique importante dans la lutte interne à la bureaucratie médicale du début du XIXe siècle. Un peu auparavant, des hommes comme Thomas Trotter avaient salué les médecins militaires comme constituant « l'élément vital de cette machine qui est notre gloire[97] ». C'est la compréhension médicale de ce système sublime qui conférait au médecin le droit de se placer au-dessus du contrôle policier de la maladie et de la santé. Cela ne s'apparentait pas à la production spectaculaire de la philosophie naturelle ; c'est pourquoi, alors que le système du contrôle policier se développait comme compréhension d'un certain type d'économie, les philosophes naturels furent bientôt marginalisés et radicalisés. À partir des années 1780, en Grande-Bretagne et en France, la lutte se durcit entre les conférenciers d'opinion radicale, pour qui les puissances dans la matière ne constituaient plus les liens directs avec Dieu, et les tenants d'un système de police médicale pour lesquels la société et la nature fonctionnaient comme un système qui ne pouvait être compris que par l'élite. C'est sur ce point que le contraste entre la compréhension commune de la nature et la suspicion à l'égard de la superstition populaire de la part des élites apparut le plus clairement.

Chacun de ces deux groupes pouvait trouver une légitimation de ses opinions dans la position que Joseph Priestley cherchait à établir. D'un côté, Priestley mettait en avant le caractère directement divin des principes actifs afin de développer une théologie radicale. Les historiens ont retracé la généalogie de telles déclarations dans les textes du XVIIIe siècle sur l'esprit, comme ceux du prêtre hérétique Robert Clayton, qui composa un texte arianiste intitulé *Essay on Spirit* en 1751. « Les œuvres de Dieu, écrivit Priestley, sont à la fois incompréhensibles […] et inachevées[98]. » Dans ses *Disquisitions on Matter and Spirit* (1777), Priestley discute de

plusieurs puissances actives, dont l'électricité, le magnétisme, l'attraction et la répulsion, le domaine intermédiaire des pneumatiques et de la météorologie, et la puissance intellectuelle de la sensation, de la perception et de l'association. Sa doctrine de l'âme dépendait étroitement de l'idée qu'un liquide pourvu de « puissances très actives » était également réputé contenir de l'« esprit », et c'est de là que les ignorants tiraient leur croyance en une âme immortelle et volatile. La véritable morale devait désormais découler de l'expérience rationnelle d'une longue série de phénomènes, et non de l'action unique d'un spectacle. D'un autre côté, Priestley détruisit la base même sur laquelle étaient fondés les conférences et les spectacles : la suprématie du caractère spectaculaire des puissances de la matière. Ceux qui souhaitaient mettre à profit les conférences devaient donc accepter la distance entre ces puissances et la divinité, ou bien abandonner totalement ces puissances. Ceux qui étaient satisfaits de pouvoir éviter la pratique de la philosophie naturelle publique, notamment les petits groupes d'esprits éclairés qui se réunissaient dans des clubs à la fin du XVIII[e] siècle, pouvaient utiliser les histoires philosophiques de Priestley afin de guider leur compréhension du système de la nature qui se développait. Des études récentes sur les Lumières écossaises et sur la culture provinciale des académies françaises et italiennes ont montré à la fois la prééminence et la situation de crise de ces groupes. Des textes comme celui de Priestley saisissaient précisément la relation ambiguë entre ces académies et sociétés philosophiques, et l'utilisation de la philosophie naturelle dans des spectacles publics radicaux dans les années 1780 et 1790 [99].

En Grande-Bretagne, de nombreux radicaux continuèrent à exhiber leurs expériences sur les puissances actives en public. Thomas Beddoes, initiateur d'un « programme médical qui cherchait

à résoudre l'impasse professionnelle et technique à laquelle avait abouti la médecine du XVIII^e^ siècle », et donateur pour l'Institution pneumatique, souffrit à Oxford et à Londres en raison de la connexion entre le jacobinisme, les Amis de la liberté, et la philosophie naturelle[100]. Erasmus Darwin, membre de la Société lunaire à une époque de réaction anti-jacobine, ou Richard Phillips, éditeur radical de Leicester et théoricien de la matière, eurent des expériences tout aussi significatives[101]. Edmund Burke évoqua le « gaz de la sauvagerie, l'air fixe » qui avait « simplement échappé » en 1789, et la « froide malveillance » des radicaux qui s'apparentait à celle des « chimistes » qui « rapportent du fond de leurs fournaises des dispositions qui les rendent plus qu'indifférents aux sentiments et aux habitudes qui sont le support de la morale ». Son correspondant d'autrefois, Priestley, rétorqua que « le millenium social serait produit par l'influence de l'esprit du commerce soutenu par la religion chrétienne et la véritable philosophie ». Comme l'ont bien montré Thackray et Scott, la réaction contre le radicalisme et la philosophie naturelle de Priestley est sans doute liée à l'absence de démonstration des puissances actives dans des conférences comme celles de George Adams. Une telle réaction a pu influencer l'intérêt de Dalton pour la météorologie dans les années 1790[102]. Nous avons souligné la connexion existant entre réforme radicale et philosophie naturelle : William Blake, qui souhaitait ouvrir une nouvelle voie au radicalisme et au savoir de la nature, décrivit dans sa satire *Une île dans la Lune* (1784-1785) les « gaz inflammables des chercheurs de vent » qui ont été identifiés comme se référant à Priestley, Cavendish, Nicholson, ou au conférencier Gustavus Katterfelto. Blake décrivit ces expériences en termes de « marionnettes », raconta l'explosion d'une pompe à air, et décrivit la putréfaction et la corruption à la suite d'une fuite de « Flogiston ». Dans un écrit

anonyme daté de juin 1783 et intitulé « La quintuple alliance », Katterfelto est stigmatisé, parmi d'autres conférenciers, dont le scandaleux D[r] James Graham, comme un défenseur de la révolution démocratique[103].

L'attrait pour la philosophie naturelle pouvait donner lieu à des pratiques plus sauvages encore. Ebenezer Sibley, occultiste, franc-maçon, partisan de Thomas Hardy et du millénariste Richard Brothers, composa sa *Complete Illustration of the Celestial Science of Astrology* (1784-1788) dans laquelle les puissances actives (dont la palingenèse) étaient abordées selon les principes de la philosophie naturelle. De telles tentatives trouvaient écho et soutien dans des revues telles que le *Conjuror's Magazine*[104]. Un bon exemple d'une transformation des principes de la philosophie naturelle est fourni par Adam Walker, formé à l'art des conférences par Priestley. La philosophie naturelle ne pouvait plus se contenter de chercher à susciter l'obéissance et la peur dans son public ; elle devait désormais utiliser les puissances actives afin de franchir les barrières du contrôle social. Comme l'a montré Morris Berman, les premiers responsables de la Royal Institution fondée en 1799 se sont précisément attachés à limiter ce danger, à une époque de potentielles crises révolutionnaires. L'architecte de la Royal Institution déclara : « Apprendre la science aux classes sociales les plus basses […] était considéré comme un geste politique. Si je persistais dans cette voie, je serais un homme fini[105]. » Adam Walker, à la fin des années 1790, interrompit ses propres conférences pour fulminer contre

> la stupidité, la bassesse, l'extravagance et la barbarie de l'homme […] L'ami de l'humanité ne peut goûter de véritable plaisir qu'en s'abandonnant à un espoir touchant en l'avenir.

Exerçant à cette époque à Manchester, Walker condamna « la multitude » qui

> regarde rarement au-delà des avantages présents ; lorsque ses nouveaux gouverneurs exposent devant elle l'image séduisante de l'ordre, de la régularité et de la méthode, la multitude, dans l'espoir de voir s'améliorer sa difficile situation présente, est prête à croire tout ce qui lui promet quelque repos. Cette multitude se laisse tout naturellement embarquer et se soumet, elle et sa postérité, à des lois oppressives que leur concepteur n'avait pas faites telles.

Pour Walker, le gouvernement exploitait ainsi « l'esprit humain », « ses caractéristiques et ses penchants », afin d'utiliser

> la conscience instinctive d'une divinité toute-puissante, mais une conscience obscurcie et donc susceptible d'être impressionnée par n'importe quel type de superstition capable de l'enrôler en faveur du gouvernement.

Nous verrons plus loin comment cette théorie de l'origine de la « superstition », formulée par opposition à l'épistémologie qui favorisait la communauté de tous les témoins de la nature, fonctionnait à l'intérieur de la structure changeante de la philosophie naturelle. Pour Adam Walker et ses partisans,

> le but de la philosophie est de tenter de faire voir au genre humain ce qu'est la Nature, afin qu'il puisse distinguer entre ses travaux et les systèmes extérieurs de l'art et de la police[106].

Cette évolution de la philosophie naturelle à partir des années 1780 fut très profonde. La menace que la philosophie naturelle avait toujours constituée de façon implicite s'exprimait désormais de façon explicite. L'attrait qu'elle exerçait auprès du public apparaissait alors comme contraire au gouvernement. Ce qui semblait être le garant de l'orthodoxie de la philosophie naturelle s'effondra avec la sécularisation des puissances actives de la matière, car les savants, les conférenciers et les expérimentateurs pouvaient désormais garder ces puissances pour leur propre usage (ce qui était inquiétant) ou à des fins de conspiration (ce qui était pire). C'est contre une telle éventualité que se liguèrent les forces de la police et de l'art, assurant le contrôle permanent des « ignorants » par une élite d'experts gardiens du savoir.

> Dans les sociétés riches et commerçantes, écrivait Adam Smith, penser et raisonner devient, comme n'importe quelle autre activité, un métier spécifique qui n'est exercé que par un très petit nombre de personnes qui procurent au public toute la pensée et la raison que possède la vaste multitude qui travaille.

Cette division s'imposa dans la culture française au cours des années 1780 : la lutte entre les élites d'experts et leurs actions répressives contre les charlatans, les subversifs et les enthousiastes. Jean-Pierre Goubert a illustré ce phénomène en examinant les questionnaires fournis par les intendants en 1786 et par le Comité de salubrité du D^{r} Guillotin en 1790. La distinction entre médecins et charlatans était une affaire de « notions collectives », comme le montrent les réponses des chirurgiens en chef.

> L'état d'inertie prolongé de l'administration de la justice ainsi que le laxisme et le manque d'expérience dans l'usage des lois […] ont permis aux charlatans de ressurgir avec plus d'impertinence que jamais.

Tel fut le compte rendu de Beaugency, alors que le chirurgien en chef à Mont-de-Marsan blâmait « le peuple impressionné par le merveilleux […] et dépourvu de tout discernement ». « Les véritables professionnels sont presque les seuls à ne pas se laisser séduire par les charlatans » et, en 1790, on craignait beaucoup qu'ils soient « assez faibles pour regretter la disparition de l'Ancien Régime ». La solution était claire : « Je ne connais pas de moyen plus sûr pour extirper cette engeance que de confier cette tâche à des professionnels[107]. » D'où l'attrait pour une véritable révolution menée par les membres du nouvel État afin de contrôler un public « impressionné par le merveilleux ».

À terme, bien sûr, l'expression de ces luttes allait culminer dans le culte de la Raison et de l'Être suprême. En retraçant le symbolisme de ces spectacles publics depuis leur origine dans les idées d'hommes comme Bailly, Mably et l'astronome Lalande, qui prononcèrent le discours inaugural au Panthéon en février 1794, les historiens ont montré le phénomène d'inversion de la philosophie naturelle à l'œuvre. Les savants faisaient la démonstration de leurs forces devant leur public, d'où leur pouvoir de fascination subversif. Dans les festivals révolutionnaires, selon le témoignage de Humboldt et d'autres visiteurs, comme dans d'autres aspects de la société de l'inspection et du contrôle, le peuple défilait devant ses chefs. La direction du regard et du spectacle avait été inversée. L'un des responsables, Jean-Baptiste Salaville, un collègue de Franklin et de Mirabeau, disait en 1793 qu'il fallait que

> les principes métaphysiques de Locke et de Condillac deviennent populaires, que le peuple s'habitue à ne voir dans une statue qu'une pierre, et dans une image qu'une toile et des couleurs ; sans cela je ne serais point surpris de voir une espèce de polythéisme s'établir parmi nous[108].

En 1796, Lalande, franc-maçon et athée supposé, publia un poème de Martin de Bussy sur l'éther, « ou l'Être suprême élémentaire », accompagné d'une introduction conséquente dans laquelle il exposait son argument selon lequel la Révolution « a eu principalement pour objet de détruire les préjugés nuisibles et d'y substituer d'utiles ou éternelles vérités[109] ». Là encore le passage de l'enthousiasme public à la crainte de la superstition publique fut la cause de ce changement de stratégie politique. Tocqueville fit la synthèse de ces transformations dans son analyse des raisons du succès de la Révolution :

> C'est en remontant toujours ainsi à ce qu'il y avait de moins particulier, et pour ainsi dire de plus naturel en fait d'état social et de gouvernement, qu'elle a pu se rendre compréhensible pour tous et imitable en cent endroits à la fois[110].

Dans la période qui précédait immédiatement la Révolution, la lutte entre les conférenciers et la police fut menée essentiellement sur le front de la thérapie. Ludmilla Jordanova a étudié la relation entre les sciences de la terre et la médecine environnementale à cette époque, et d'autres historiens ont mis en lumière le rôle de la Société royale de médecine[111]. Lorsque le projet de la philosophie naturelle se fit jour, les agents de la police médicale réclamèrent de

vastes programmes de santé publique, la collecte régionale de données météorologiques, l'expérimentation contrôlée de la thérapie électrique et l'étude de ses rapports avec le climat, la transformation de l'architecture des hôpitaux et des prisons. Breteuil, ministre du département de Paris, et « terreur des charlatans », s'associa avec Bailly et les comités de la Société royale de médecine et de l'Académie royale des sciences pour améliorer l'architecture des hôpitaux. L'analyse que fait Greenbaum de la carrière de Le Roy par rapport à de tels projets illustre bien comment tout appel au public par l'intermédiaire de la philosophie naturelle ou du spectacle public était considéré avec suspicion. Le Roy était un praticien médical de l'électricité qui soutenait publiquement Mesmer et Marat, concevait des paratonnerres, faisait des comptes rendus de vols en montgolfière et écrivait sur les pratiques populaires en philosophie naturelle. Ses plans pour l'amélioration des hôpitaux, fondés sur les idées de John Pringle, furent ignorés par les officiels des sociétés médicales et il fut systématiquement exclu de toutes les instances de décision[112].

Des liens similaires rapprochaient certains radicaux et conférenciers de cette culture marginalisée. Un exemple caractéristique est fourni par Pilâtre de Rozier, savant et aéronaute. Pilâtre était un pharmacien qui mit en place une série de conférences à Reims à partir de 1780. Dans ses conférences, il tirait les enseignements scientifiques classiques de ses démonstrations :

> Mesdames, déclarait-il à son public, laissez-moi faire la comparaison suivante qui rendra l'attraction vraiment compréhensible […] Je suis mon goût, je cède à mon inclination, je m'abandonne à l'amour qui m'inspire. Cela, chères mesdames, est ce que j'entends par attraction.

En 1781, Pilâtre étendit ses activités en fondant un musée à Paris dans lequel Cassini donnait des conférences sur l'astronomie, Romé de L'Isle sur la cristallographie, et Pilâtre de Rozier se donnait en spectacle en emplissant ses poumons d'hydrogène puis en enflammant son souffle afin de démontrer la combustibilité des gaz. Lavoisier loua Pilâtre de Rozier comme étant le premier « aéronaute » pendant l'été 1783, et en juin 1785 il fut tué lors d'un crash spectaculaire à Boulogne. Le courageux savant se plaignait que, malgré « mes importantes expérimentations avec les gaz […] je suis resté inconnu et mes découvertes ont été oubliées ». Pendant toute sa carrière, la pratique de la montgolfière fut étroitement associée aux problèmes traditionnels de la météorologie et de l'atmosphère. Le compte rendu de Lavoisier datant de décembre 1783 explique que l'ascension est causée par l'air chaud et non par les puissances électriques ou gazeuses ; le respirateur de Pilâtre constituait une tentative pour commercialiser un moyen de contrôler l'air pollué des mines et des filatures, tentative mise à mal par le statut douteux qu'il occupait dans son groupe[113]. La crise politique des années 1780 affecta profondément leurs carrières et la façon dont ils furent traités. Nicolas Bergasse, l'un des disciples les plus enthousiastes de Mesmer, écrivit en 1781 que « le corps des docteurs est un corps politique dont le destin est lié à celui de l'État » et que « nous devons presque toutes les maladies physiques qui nous consument à nos institutions[114] ».

La meilleure illustration de ce courant d'opposition était la Société royale de médecine sous Vicq d'Azyr. Outre sa recommandation d'expulser Marat de Paris au début des années 1780, parce qu'il était un « charlatan » et que de nombreux « malades sont morts dans ses mains », Vicq d'Azyr supervisa la collecte massive des données sur les climats locaux, ainsi que des

enquêtes sur l'histoire naturelle de problèmes tels que les épidémies de rage et de peste dans les troupeaux[115]. Comme Gillispie l'a souligné, l'administration de la Société royale de médecine était caractérisée par le « paternalisme » et par une attitude envers les désastres naturels qui en faisait des problèmes à gérer plutôt que des spectacles à exploiter. De la même manière, Sutton a montré comment les différentes réponses à la taxonomie médicale et aux électrothérapies de Mauduyt, Bertholon et Ledru dépendaient de leur situation respective envers les limites du système de la police médicale établie[116].

À cet égard, la carrière du conférencier Nicolas Ledru est éclairante. Ledru avait rencontré les fameux fabricants d'instruments Nairne et Ramsden lors d'un voyage à Londres en 1766, et avait gagné confortablement sa vie en tant que démonstrateur d'électricité à la foire de Saint-Germain et ailleurs. Comme Le Roy, il avait conçu des instruments pour Joseph II, et comme Pilâtre de Rozier, il avait bénéficié du mécénat royal ainsi que du soutien du cercle qui gravitait autour de Nollet, notamment Delor et Rouelle. En 1778, Ledru publia un article dans l'important *Journal de physique* (où Pilâtre publia son travail sur les causes de l'éclair). Ledru suggéra une classification de maladies sérieuses qu'on pouvait soigner par l'électricité. En 1781, Ledru se trouva impliqué dans un complexe conflit de précédence avec Marat sur le développement de l'électrothérapie et, par suite, des conférenciers influents et reconnus comme Charles ou Sigaud de La Fond prirent leurs distances par rapport à Ledru, ses conférences et ses cures publiques. En 1783, une commission de la Sorbonne le fit membre de la Faculté, lui donna l'autorisation de pratiquer et lui octroya un espace pour une clinique aux Célestins, ainsi que le titre de « physicien du roi ». Ledru dédia au ministre des Affaires étrangères Vergennes son texte

majeur sur le fluide et la thérapie électriques, en une tentative supplémentaire pour gagner l'approbation publique : il offre dans ce texte des arguments tirés de la philosophie électrique, dans le but de légitimer les traitements, tels que l'application de charges électriques à ses patients. Mais des hommes comme Cagliostro ou Mesmer, qui fut condamné au printemps 1784 par la commission présidée par Bailly, emportèrent Ledru dans leur chute. Sa carrière était beaucoup trop représentative du destin de ceux contre lesquels les pourvoyeurs du savoir médical agissaient si vigoureusement[117].

Ce danger était associé aux tendances millénaristes de ces expérimentateurs et de leurs groupes, en Angleterre comme en France dans les années 1790. La Société de l'harmonie de Mesmer n'était qu'un de ces groupes. Son disciple Jean-Louis Carra écrivit en 1785 au sujet de l'association étroite entre les spectacles naturels du climat et les changements politiques :

> Le globe tout entier semble se préparer à des changements physiques par une accélération nette du cours des saisons […] Dans les sociétés, les masses s'agitent plus que jamais afin de démêler enfin le chaos de leurs principes moraux et de leur législation[118].

De la même manière, certains disciples de Priestley, tels que Robert Garnham qui écrivit dans le *Theological Repository* en 1786, rapprochèrent « nos discussions présentes sur la matière et l'esprit et les progrès de notre astronomie », avec un millénaire prochain. L'*European Magazine* publia un « Essai sur la fin du monde » en 1788, le *Gentleman's Magazine* publia un texte sur « Les signes des temps ». Dans toutes ces prophéties apocalyptiques, des carrières se sont faites : des savants et des conférenciers qui passaient d'une

tentative pour être acceptés à des attitudes plus radicales, millénaristes et plus personnellement charismatiques envers leur public et l'État futur. De bons exemples sont fournis par la Société d'Avignon et par les swedenborgiens. Les croyances populaires, reproduites dans les pamphlets de la Bibliothèque bleue, étaient mobilisées à cette fin ; Robert Hindmarsh et James Scholefield, qui menèrent le mouvement de rupture avec le compromis des swedenborgiens à l'égard de l'Église établie, adoptèrent progressivement des postures scientifiques radicales afin d'attirer leur public. Dans le groupe swedenborgien on trouve Philip James de Loutherbourg, qui, dix ans auparavant, avait reproduit des spectacles scientifiques à Drury Lane. Dans les années 1780 et 1790, cependant, il devint tour à tour alchimiste (jusqu'à ce que sa femme le lui défende), baptiste, fondateur de la Société théosophique swedenborgienne avec le graveur radical William Sharp, Flaxman, Fuseli et Blake, et en 1789 il créa une clinique thérapeutique à Hammersmith qui ne ferma que lorsqu'elle fut dévastée par des patients insatisfaits[119]. On peut en tirer deux traits caractéristiques de la tentative pour contrôler la société : d'une part, le sentiment encore plus développé du pouvoir de l'« imagination », à laquelle Bailly attribuait le succès de Mesmer ; d'autre part, l'urgence politique réelle de contrôle de cette faculté.

John Heilbron a montré que la croissance de l'électricité médicale entre les années 1750 et 1780 fut remarquable : en 1790, au moins 70 % des articles scientifiques concernaient ce sujet. La science organisée a réagi en proportion en luttant avec une vigueur renouvelée contre ce qu'elle considérait comme étant un savoir déformé. Des cabinets et des organisations émergeaient, qui prétendaient systématiquement éradiquer les illusions et superstitions « populaires » telles que l'hydrophobie, en leur déniant

d'abord toute réalité (un correspondant en France déclara être « persuadé que toute personne dotée d'un jugement solide et d'un esprit ferme ne sera jamais victime de telles tromperies ») puis en affirmant contrôler et gérer les systèmes publics d'hygiène, de morale et de soins thérapeutiques. Ce type d'action était le résultat de la crise politique perçue associée aux effets de cette crise sur le domaine vulnérable et non universitaire de la science. De façon caractéristique, les problèmes d'un savoir qui faisait appel à l'assentiment public devinrent insurmontables[120].

Esthétique et moralité

La science était vulnérable car elle était un système de représentation. Elle reconnaissait la puissance de la nature, l'origine divine de cette puissance et la possibilité pour les savants d'exploiter cette puissance afin de moraliser leur public. Cependant, on acceptait tout aussi couramment le fait que le seul spectacle était une garantie insuffisante de moralisation. Des écrivains tels que Pope et Fontenelle se considéraient comme

> placés par la main de Dieu au milieu du vaste théâtre, dans lequel le Soleil, la Lune et les étoiles, mais aussi les fruits et les légumes de la Terre, en changeant perpétuellement de place et d'aspect, offrent un divertissement élégant à l'entendement ainsi qu'à l'œil,

et ils apprirent ceci de l'exemple de la philosophie naturelle. Des poètes tels que Henry Jones et Edward Perronet célébrèrent ce

succès en louant le planétaire et la machine électrique :

> Va, chantre magnifique, et agite le fil électrique,
> Jusqu'à ce que les sots deviennent sages, et que les athées trouvent un Dieu[121].

Cependant, de telles déclarations perdirent de leur crédibilité à la fin du XVIII^e^ siècle. L'histoire philosophique et conjecturale, forme caractéristique de la fin des Lumières, refusait résolument de reconnaître le pouvoir de la simple représentation, et retraçait tout aussi volontairement l'histoire du savoir naturel et de la moralité afin de définir un nouveau modèle de contrôle épistémologique. Il s'agissait d'un problème à la fois religieux et esthétique. Religieux, parce que le bon modèle de savoir naturel pourrait être déterminé selon la moralité qu'il serait capable de générer ; esthétique, parce que l'attrait de la nature était théorisé par rapport aux notions de beauté et de sublime. Il est apparu de façon tout à fait évidente que la beauté était un produit de l'illusion et du charlatanisme, et que le sublime constituait le but véritablement moral. C'est pourquoi je propose de rapprocher la campagne contre le charlatanisme des conférences publiques, le débat sur le sublime et la crise politique des années 1780.

La philosophie esthétique affirmait que la simple représentation était en réalité une illusion, que le véritable contrôle résidait dans l'ensemble du système, que l'esprit éclairé pouvait voir le système, la « main invisible », et que c'était le seul moyen d'atteindre à la véritable moralité. L'expérience directe, comme nous l'avons vu, conduisait à la superstition, comme cela avait été le cas pour les peuples primitifs ; l'expérience systématique et progressive, au contraire, conduisait aux croyances rationnelles. C'était le thème des

histoires de l'électricité et de l'optique de Priestley, et de l'histoire des sciences qu'il visait plus généralement ; c'était également le thème de l'histoire de l'astronomie d'Adam Smith, dans laquelle les effets de « l'émerveillement, de la surprise et de l'admiration » étaient conçus comme le moteur essentiel du progrès historique ; c'était enfin la préoccupation des histoires de l'astronomie épiques de Jean Sylvain Bailly publiées dans les années 1770. Entre 1769 et 1790, Joshua Reynolds interpella à plusieurs reprises l'Académie royale dans ce but. De même que Priestley soulignait que l'organisation de l'histoire philosophique rendait ses lecteurs attentifs au progrès de l'esprit humain et donc à la divinité, de même Bailly considérait que l'histoire de l'astronomie faisait apparaître les faiblesses du spectacle naturel, ses connexions avec la superstition et les véritables leçons morales à tirer de « l'esprit humain », « sa grandeur et sa majesté » :

> Les connaissances les plus élevées appartiennent également à tous les hommes. Nous y sommes parvenus par degrés ; les moyens de recherche ont été pris dans la nature, nous l'avons soumise en employant sa puissance contre elle-même […] La lecture de l'histoire des sciences ne demande pas que l'on soit savant – elle est un moyen de le devenir. La vérité a des traits qui doivent frapper tout le monde quand elle est exposée sans voile[122].

L'analyse la plus précise de la relation entre cette conception de l'esprit humain et la dévalorisation du pur spectacle se trouve dans la *Critique de la faculté de juger* de Kant (1790). Dans ce texte, Kant rapproche explicitement son analyse de la structure du système de l'histoire naturelle, en tant que critique de la théologie, et son

analyse de l'esthétique, en tant que critique du spectacle scientifique :

> Des rochers déchiquetés, surplombants, et presque menaçants ; des nuages accumulés dans le ciel, évoluant à travers les éclairs et les grondements de tonnerre ; des volcans dans toute leur violence destructrice : l'océan sans fin dans un état de tumulte ; la noble chute d'une puissante rivière, et autres phénomènes de ce genre – tout cela fait apparaître notre faculté de résistance comme étant insignifiante et minuscule en comparaison avec leur puissance[123].

On se souvient du commentaire de Stukeley au sujet du tremblement de terre de 1750 : « Proposons à un homme de mesurer sa propre puissance à l'aune de celle qui est responsable d'un tremblement de terre. » Kant distinguait, contrairement à Stukeley, la terreur inspirée par la puissance naturelle et la réaction rationnelle correcte face à cette puissance. La première réaction menait à la superstition : comme Adam Smith l'affirmait, on voyait dans les âges primitifs « la main invisible de Jupiter » agir à travers les phénomènes terrifiants tels que « comètes, éclipses, tonnerre, éclairs et autres météores »,

> d'où les origines du Polythéisme et de cette superstition vulgaire qui assigne toutes les irrégularités de la Nature au bon plaisir ou à la colère d'Êtres intelligents bien qu'invisibles[124].

Kant proposait lui aussi une distinction :

> Nous sommes habitués à représenter Dieu comme se présentant lui-même en colère et pourtant sublime dans la tempête, l'ouragan, le tremblement de terre.

Kant remarquait qu'

> il semblerait qu'aucun sentiment du sublime de notre propre nature, mais bien plutôt le sentiment de notre petitesse, médiocrité, et un sentiment de totale impuissance est l'état d'esprit qui convient à un tel objet.

Cependant, et c'était important, un tel état d'esprit allait mener à un mauvais état moral :

> L'homme qui a peur, parce qu'il a des raisons de craindre pour lui-même, en étant conscient de sa disposition coupable à offenser une puissance dont la volonté est irrésistible et en même temps juste, n'est pas dans l'état d'esprit nécessaire à l'admiration de la grandeur divine.

À partir d'une telle attitude,

> rien ne peut advenir que la recherche des faveurs et la flatterie, plutôt que la religion qui consiste en une vie bonne. Le sublime ne réside donc nulle part dans la nature, mais seulement dans l'esprit, dans la mesure où nous pouvons prendre conscience du fait que nous sommes supérieurs à la nature qui est en nous, et donc à la nature sans nous […] Tout ce qui exacerbe ce sentiment en nous, c'est-à-dire la

> puissance de la nature qui évoque nos forces, est alors appelé (bien qu'improprement) sublime[125].

L'influence de Kant sur la théorie biologique fut considérable, comme Sloan et Lenoir l'ont montré. Il synthétisa en outre le problème central de la philosophie naturelle : était-il possible de trouver un substitut pour ce qui suscite terreur et superstition dans la nature, et de situer le fondement, dans l'esprit, d'une conscience du système par lequel la morale correcte, attribut d'un « entendement libre et calme », pouvait être cultivée ? Dans le même état d'esprit, par exemple, John Gregory décrivit en 1765 la « correspondance entre les formes extérieures de la nature et certaines affections de l'esprit qui peuvent être ressenties mais non expliquées[126] ». Avant tout, Kant et ses contemporains refusaient de considérer le spectacle de la nature comme une solution parce qu'il conduisait à une moralité fallacieuse, à la superstition et à l'illusion. C'était là un thème de prédilection pour nombre d'écrivains à partir de 1800, comme l'illustre la lecture par Coleridge de textes sur l'illusion populaire, la démonologie médicale et la philosophie naturelle de Darwin et d'autres, ou comme le montre encore l'utilisation de la figure de Spallanzani par E.T.A. Hoffmann dans son magistral *Homme au sable* (1815). « Tous les charmes ou merveilles de la nature » devaient être utilisés comme étalons pour découvrir l'illusion dans le monde des apparences. Comme l'architecte Quatremère de Quincy le faisait remarquer en 1798, l'association du spectacle, de l'illusion et de l'immoralité était le résultat d'une crise politique et culturelle ; dans cette crise, le goût de la science pour le bizarre devait être, et fut, balayé :

La bizarrerie suppose une confirmation vicieuse qu'on ne saurait changer. [Elle] enfante un système destructeur de l'ordre et des formes dictées par la nature : [elle] attaque les formes constitutives de l'art […] L'expérience a prouvé que ce goût naît ordinairement de la lassitude des meilleures choses ; que dans les nations comme dans les individus, il provient quelquefois de la satiété que produit l'abondance même ; que c'est du milieu de la richesse et des jouissances de tout genre, que se développe ce dégoût funeste qui empoisonne les plaisirs, rend insipides les beautés simples de la nature, et sollicite les déguisements de l'art perfide, qui cherche moins à contenter qu'à aiguiser ou tromper les désirs[127].

CHAPITRE 4

Les techniques de l'expérimentateur, les mains du teinturier et le planétarium électrique

> Au moyen de nos gestes, nous rendons nos pensées et nos passions intelligibles à tous. […] C'est, en quelque sorte, le langage commun à l'humanité tout entière ; les gestes permettent aux yeux de comprendre, tout comme la parole permet aux oreilles d'entendre.
>
> Michel Le Faucheur, *Traitté de l'action de l'orateur*, Paris, A. Courbé, 1657.

Tours de main et techniques manuelles

Voici une recette électrique des années 1730. Utilisez une grosse cuillère de fer et placez-la près de l'âtre afin de préparer un gâteau épais et cylindrique, de dix pouces (environ 25 centimètres) de diamètre, constitué de trois parties de résine et d'une partie de cire d'abeille. Une fois que les ingrédients ont été fondus dans la cuillère, battez vigoureusement toute la surface du gâteau avec votre main, puis recouvrez celui-ci d'une fine couche de carton-pâte et laissez

reposer pendant la nuit. Le lendemain, s'il fait beau et sec, réchauffez le gâteau, suivant le modèle indiqué ci-dessus, puis déposez-le sur un récipient en verre d'un pied (environ 30 centimètres) de haut. Battez à nouveau le gâteau sur toute sa surface, en donnant des coups réguliers et perpendiculaires à l'aide du revers de la main et de vos phalanges médianes. Vous devez impérativement battre le gâteau vous-même – ne laissez en aucun cas quelqu'un d'autre le faire à votre place. Puis placez une boule d'ivoire d'un pouce et demi de diamètre environ (un peu moins de 4 centimètres) au centre du gâteau ; cette boule, notez-le bien, doit avoir été mouillée avec de l'eau commune. Évitez les courants d'air et éloignez vos proches. Maintenant, attachez un tout petit morceau de liège à l'extrémité d'un fil blanc et fin d'environ un pied de long, que l'on aura pris soin de mouiller avec de l'eau ; enroulez l'autre extrémité du fil autour de la tige d'une bonne plume à écrire. Tenez le bord supérieur de la plume entre votre pouce et votre index et appuyez attentivement votre bras sur le dossier d'une chaise afin que la boule de liège qui leste le fil suspendu à la plume se trouve placée exactement au-dessus de la boule d'ivoire, elle-même située au centre du gâteau. La boule de liège s'écartera brusquement de la boule d'ivoire puis commencera à effectuer des révolutions rapides autour de cette dernière, à la manière des planètes tournant en orbite autour du Soleil et en adoptant le même sens qu'elles. Vous venez de fabriquer un « planétarium électrique ». La boule de liège peut effectuer une centaine d'orbites avant de commencer à ralentir. On peut obtenir plusieurs types de mouvements en écartant la boule d'ivoire du centre du gâteau et en augmentant le nombre de boules d'ivoire, ou bien encore en remplaçant le morceau de liège par un cylindre de papier, ainsi que par tout autre objet approprié. En étudiant attentivement ces phénomènes, on peut légitimement tirer

des conclusions sur les causes probables du mouvement des planètes, de la Lune et des comètes, ainsi que sur le rôle universel du fluide électrique.

Pratiquement absent de l'histoire officielle de l'électricité, le planétarium électrique pourrait être considéré comme une invention « malencontreuse », située chronologiquement entre la démonstration de Stephen Gray sur la conduction électrique, en 1729, et la formulation par Charles Dufay des principes d'électrification par influence, avant 1738. On peut concocter cette « recette » en cherchant dans divers documents ayant appartenu à des membres de la Royal Society. Juste avant sa mort, en février 1736, le teinturier Gray commença à mettre au point ce dispositif, qu'il dénomma « un nouveau type de planétarium », et il donna quelques indications de son fonctionnement à son ami proche, le propriétaire terrien du Kent Granville Wheler, ainsi qu'au secrétaire de la Royal Society, Cromwell Mortimer. Wheler peaufina le fonctionnement du planétarium électrique ; il le montra ensuite à ses collègues de la Royal Society, à Londres, au mois de mai 1737. Puis, par l'entremise de Mortimer, il donna des instructions à Charles François de Cisternay Dufay, qui était membre de l'Académie royale des sciences de Paris, mais aussi intendant du Jardin du roi et administrateur des teintureries à la manufacture des Gobelins. Le secrétaire de l'Académie royale des sciences, Bernard de Fontenelle, voyait là « un nouvel et vaste espoir pour toute l'astronomie ». Mais, dès le mois de février 1738, Wheler reconnaissait que les phénomènes apparaissant dans le planétarium étaient dus à « un secret mouvement de la main qui, voulant faire réussir l'expérience, donnait imperceptiblement un mouvement pendulaire au corps [en suspension] ». Et Wheler d'affirmer que

« nombreuses sont les expériences étranges et plaisantes qui peuvent réussir, lorsqu'elles sont répétées[1] ».

Contrairement aux expériences contemporaines, comme les essais pneumatiques effectués dans le cadre des expérimentations sur les baromètres et les pompes à air, cette expérience étrange et plaisante ne devint jamais tout à fait un instrument de philosophie naturelle. Son plus proche équivalent, le planétarium mécanique ou planétaire, conçu dans l'Angleterre du début du XVIII^e^ siècle pour servir de divertissement à un public urbain, était une machine qu'un passionné d'astronomie tel que Gray ne pouvait ignorer. Son contemporain de Cambridge, William Stukeley, et son ancien mécène, Jean Théophile Desaguliers, travaillaient tous deux pour améliorer le fonctionnement du planétaire. Dans les années 1760, plusieurs fabricants d'instruments conçurent même des « planétaires électriques » : dans ces dispositifs, une décharge électrique servait à activer un modèle astronomique rotatif. Le planétarium électrique fut cependant conçu, non comme un modèle expliquant le bon agencement des mouvements des planètes – modèle divertissant et parfaitement adapté à une conversation de salon –, mais comme une démonstration de principe servant à montrer les causes véritables de ces mouvements. Le planétarium électrique dépendait de manière cruciale des techniques manuelles, bref des « tours de main ». Retracer l'histoire de cette invention, c'est retracer l'histoire des techniques corporelles des expérimentateurs. Dans la sphère de la philosophie expérimentale, les techniques corporelles sont étroitement corrélées aux problèmes de la formation et du savoir-faire. Elles peuvent varier en fonction du lieu de l'expérimentation, du statut social de l'expérimentateur, ainsi que des instruments utilisés. Les praticiens étaient connus pour leur remarquable dextérité ; ils établissaient leur autorité en indiquant très clairement

le savoir-faire dont ils avaient besoin ou avaient recours à des techniques corporelles existantes pour reproduire les gestes qu'ils jugeaient importants[2].

Les historiens se sont peut-être plus penchés sur les appareils scientifiques que sur les techniques de leurs utilisateurs, et se sont plus intéressés à la cosmologie qu'à la conduite. Une tradition influente distingue deux formes de savoir : d'une part, le savoir cérébral, rationnel et transmissible et, d'autre part, le savoir corporel, tacite et foncièrement local. Dans le cadre du présent chapitre, je m'appuie sur des théories convaincantes qui contestent cette tradition, notamment les études d'Heinz Otto Sibum sur les expériences effectuées au début du XIX^e^ siècle par James Joule pour produire un équivalent mécanique de la chaleur. Sibum a reconstitué les expériences faites par Joule au moyen de roues à aubes et a, dans ce cadre, effectué des expérimentations minutieuses avec des répliques, spécialement construites pour l'occasion, des instruments du brasseur de Salford. Les études menées par Sibum lui permettent de définir « le savoir gestuel comme le savoir lié à la performance de travail de l'acteur », qui

> change selon les types spécifiques de performance, par exemple dans le maniement d'un instrument ou dans l'utilisation d'outils mathématiques, et dans des circonstances historiques en perpétuelle évolution.

Dans le cadre de ses reconstitutions expérimentales et de ses études historiques, Sibum montre que Joule a utilisé, au cours de ses expériences, le savoir-faire mis au point dans la communauté des brasseurs, savoir-faire *a priori* sans rapport avec la science expérimentale, au moment précisément où le secteur de la brasserie

était en butte à des bouleversements culturels et techniques importants. Dans le cadre des nouvelles techniques mises au point dans les années 1830 dans le secteur de la brasserie, les ouvriers traditionnels étaient considérés comme des « types d'automates » : ils possédaient des aptitudes conventionnelles, qui étaient inexprimables. Au nom des lois du marché, le « savoir imitatif » des brasseurs s'accompagnait désormais d'outils de précision qui contrôlaient le savoir-faire et qui permettaient, par là même, de jauger la précision des travailleurs. Dans ses études, Sibum rappelle le caractère profondément local, ainsi que les caractéristiques évolutives, des savoirs gestuels ; il évoque en outre les moyens à mettre en œuvre pour recouvrer ces types de savoirs. Ces derniers étaient propres à des sites particuliers de production du savoir et à des « gestuelles collectives » telles que les « communautés de savoir-faire » que l'on trouve chez les artisans londoniens du début de la période moderne[3].

Les études de Sibum permettent d'historiciser les attitudes à l'égard du savoir-faire et de sa transmission. Dans la culture du début de la période moderne, l'atmosphère de secret qui régnait de manière relative dans les ateliers des artisans conduisait à penser que le savoir-faire incarné ne pouvait prétendre au rang de philosophie naturelle. La mise en avant de la présence inaccoutumée du corps pouvait être perçue de manière péjorative, tandis que les enquêtes effectuées sur les artisans par les philosophes, dans le cadre des histoires des métiers, pouvaient être considérées comme une forme de progrès, de « lumières ». Inspirée à l'origine par le *Dictionnaire universel des arts et des sciences* (1728) d'Ephraïm Chambers, l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert proclama la libération des arts mécaniques de l'ignorante condescendance des aristocrates mais elle le fit au nom d'une rationalisation du travail,

effectuée sous le contrôle de responsables éclairés[4]. L'Académie royale des sciences fut elle aussi à l'origine de la publication d'une collection d'ouvrages sur les métiers – les *Descriptions des arts et métiers, faites ou approuvées par messieurs de l'Académie royale des sciences* –, plus critiques à l'égard des artisans, sur la base des collections effectuées à partir des années 1720 par René-Antoine de Réaumur, le mécène de Dufay. Ce dernier effectua une étude sur le métier de teinturier et écrivait à ce propos : « Aucun teinturier ne peut avoir une connaissance générale de l'ensemble de son art. » Les artisans, selon Dufay, étaient incapables de formuler les principes qui constituaient les bases du processus de travail. Pierre-Joseph Macquer, successeur de Dufay en qualité de pharmacien au Jardin du roi et d'administrateur des teintureries à la manufacture des Gobelins, expliquait pour sa part qu'il ne pouvait s'appuyer sur les connaissances des artisans « puisque, en règle générale, [ces derniers] n'ont rien d'autre que leurs mains et leur expérience ».

Les techniques mises en exergue dans le cadre de ce que Lissa Roberts appelle « la réflexion mesurée » pouvaient en apparence être reproduites un peu partout. L'*Encyclopédie* considéra que, dans le domaine de la teinture, « il se trouve toujours des personnes qui possèdent un secret dans cet art aussi vaste et aussi délicat ». Mais « il incombe aux philosophes naturels de nous instruire sur ces phénomènes supposés » et, ainsi, de relancer cet art national. Les historiens des métiers considéraient que les activités et opérations locales des travailleurs manuels, qu'ils considéraient comme autant d'automates, recelaient un savoir inestimable. Tout au long du XVIII^e^ siècle, le contrôle des techniques et des connaissances manuelles revêtit une importance considérable[5].

Dans l'Ancien Régime, les corvées et autres travaux physiques étaient considérés comme une malédiction ; l'art, quant à lui, était

perçu comme une tâche plus noble et rationnelle. La main devint métonymiquement un signe de distinction, un outil de communication et le symbole même de l'acte de travail. Dans son « Éloge de M. du Fay », Fontenelle écrivait que Charles François Dufay « avait une vivacité qui ne se serait pas aisément contentée des spéculations paresseuses du cabinet, elle demandait que ses mains travaillassent aussi bien que son esprit[6] ». Pour contrôler ses mains, il importait que l'expérimentateur fût capable de se connaître lui-même. Les philosophes expérimentaux du début de la période moderne considéraient qu'ils pouvaient faire la part entre les réactions corporelles et le monde de l'illusion, ce qui n'était pas le cas des femmes ou des serviteurs. Il était douteux que les mains des artisans pussent véhiculer une philosophie naturelle digne de ce nom[7]. En Angleterre, le terme de « main » (*hand*) apparut à la fin du XVII^e^ siècle pour désigner un travailleur. Ce vocable fut employé couramment dans les ateliers et les chantiers londoniens, au XVIII^e^ siècle, avant de désigner par la suite la main-d'œuvre subalterne obéissant à des systèmes de discipline complexes. Au XVIII^e^ siècle, un répertoire des métiers de Londres indiquait que les fabricants de pompes à air et de planétaires

> emploient chacun plusieurs « mains » différentes, qui sont de simples mécaniciens [travailleurs manuels], et qui ne connaissent pas plus l'utilité ou la finalité des travaux qu'ils effectuent que les techniques avec lesquelles la plus grande partie d'entre eux est exécutée.

Steven Shapin s'est servi de certains éléments, en particulier la recherche par la Royal Society d'« une bonne main » pour que cette dernière servît d'« opérateur » (technicien chargé de faire

fonctionner certains appareils), afin de clarifier les distinctions entre philosophes expérimentaux, maîtres et techniciens. Stephen Pumfrey a, pour sa part, étudié les conséquences de ces distinctions sur les mains des travailleurs au sein de la Royal Society, au début du XVIII^e^ siècle[8]. Lorsque Francis Hauksbee, le conservateur des expérimentations de la Royal Society, publia pour la première fois un recueil d'expériences en 1709, il dépendait de l'autorisation de cette institution : ses expérimentations devaient « surmonter l'inconvénient d'avoir été faites par les mains d'une personne si peu méritante ». Les expérimentateurs occupaient des postes ambigus dans la société hiérarchique dont Crane Court, le siège de la Royal Society, était une plaque tournante. Isaac Newton, le président de cette institution, considérait Hauksbee comme « une petite main », un technicien qu'il recrutait *ad libitum* et qui pouvait l'« assister » selon son bon plaisir. Les techniciens qui étaient stipendiés pour présenter, « mettre en scène » les expérimentations, eurent du mal à être considérés comme des philosophes naturels ; souvent, c'étaient les philosophes naturels qui étaient considérés comme les véritables démonstrateurs des expériences[9].

Le présent chapitre étudie les techniques manuelles, dans le cadre des travaux effectués au début du XVIII^e^ siècle sur l'électricité. Comme les contemporains l'ont souvent remarqué, les effets électriques dépendaient tout particulièrement de la dextérité manuelle. Gray était connu pour avoir un tour de main remarquable en matière d'effets électriques. Il y a un lien entre ce tour de main et l'art du teinturier. Gray s'est servi notamment des techniques manuelles employées dans le secteur de la teinturerie pour fabriquer artificiellement de l'électricité. Mais les travaux sur l'électricité ne pouvaient prétendre rejoindre les hautes sphères de la philosophie naturelle en opérant une simple translation, autrement dit en

déplaçant le savoir-faire du teinturier jusque dans les salles de la Royal Society. Granville Wheler, qui fut collègue de Stephen Gray, puis qui lui succéda au sein de l'institution londonienne, était un connaisseur distingué (*genteel virtuoso*) qui cherchait à transformer « le tour de main » (autrement dit les techniques manuelles) en un véritable élément de philosophie naturelle ; de la même façon, il œuvra pour que, de simple gâteau de résine, le planétarium électrique devînt un modèle de l'univers. Il espérait que cet appareil pourrait remettre en cause les théories de Newton sur les mouvements célestes et qu'il contribuerait à rendre plausible la nouvelle cosmologie électrique. On décida, *in fine*, que le planétarium n'était pas un instrument philosophique fiable mais la conséquence malheureuse d'une main capricieuse. Wheler préserva sa réputation en marquant très clairement la distinction entre sa personne et les caprices de sa main.

Dans ce chapitre, nous serons amené à comparer les travaux de Gray à ceux de Dufay à Paris, où ce dernier était administrateur des teintureries à la manufacture royale des Gobelins, et où il était l'un des principaux scientifiques à étudier les phénomènes électriques. Dufay inaugure une nouvelle forme de travail où la main-d'œuvre devait obéir à une discipline stricte. La carrière du planétarium électrique est donc associée à la métrologie des conditions de travail sous l'Ancien Régime. Différents types de savoirs gestuels ont été mis au point dans différents cadres culturels et dans différentes formes de *praxis*. Une analyse historique du travail expérimental tentera d'appréhender ces formes et leur variation.

Le tour de main du teinturier

C’est au cours de l’année 1706 que les expériences publiques sur l’électricité artificielle débutèrent à Londres. Francis Hauksbee se servait d’une boule de verre qu’il faisait tourner et sur laquelle il plaçait sa main pour « fabriquer de la lumière », puis pour attirer et repousser des objets métalliques qu’il plaçait à proximité. Hauksbee montra à un professeur d’Oxford qu’« un tube de verre vigoureusement frotté au moyen de morceaux de papier blancs et noirs placés entre les mains devient lumineux ». Hauksbee utilisa ses propres doigts pour montrer la réalité du fluide électrique ainsi que des effets lumineux. Lorsqu’il frotta un cylindre de verre qu’il fit tourner et qu’il posa la main dessus, quelle ne fut pas sa surprise :

> Je ne manquai pas d’être surpris, dit-il, par l’apparition d’une lumière vive et vigoureuse entre l’extrémité de mon doigt et le verre. Cette lumière n’était pas seulement visible sur mon doigt mais […] c’est un peu comme si elle l’avait frappé violemment, car vous pouviez la sentir aisément au prix d’un léger picotement (*gentle pressure*).

En 1707, Hauksbee indiqua à la Royal Society que « ce n’était pas sans quelque plaisir que je pus voir que la Lumière commençait à apparaître du côté de la boule qui avait été touchée par les mains » et qu’« il n’était pas peu surprenant d’apercevoir une vive lumière, située entre l’extrémité du doigt et le verre[10] ». L’intérêt pour ce type d’expériences alla *crescendo* lorsque, en janvier 1708, la Royal Society reçut une lettre de Stephen Gray, un ancien teinturier du Kent qui travaillait désormais en qualité d’assistant dans un observatoire astronomique de Cambridge. Gray avait lu les mémoires de Hauksbee sur les tubes en verre que l’on frotte et il avait écrit dans sa lettre : « Au lieu de le frotter avec du papier,

comme [Hauksbee] le recommande, je trouvai que l'expérience fonctionnait mieux lorsque le tube était frotté seulement à main nue. » Au moyen du tube qu'il avait frotté à main nue, il avait attiré une plume de duvet. Cette plume, qu'il maintenait précautionneusement entre son pouce et son index, « reculait dès qu'elle n'était plus retenue par les doigts puis elle adhérait immédiatement au verre […] et elle sera légèrement attirée à nouveau par vos doigts ». Gray considérait que les mouvements de cette plume montraient que les objets placés à proximité du tube de verre obéissaient à des phénomènes d'attraction et de répulsion et que la forme de la lumière sur son doigt, lorsque ce dernier approchait du tube, démontrait le « mouvement rapide » du fluide électrique en direction du verre[11].

À Londres, les phénomènes rapportés par Gray furent testés par Hauksbee. Lorsque ce dernier mourut en 1713, Jean Théophile Desaguliers, un grand conférencier et ingénieur de Londres, lui succéda en qualité de démonstrateur et de conservateur des expériences à la Royal Society. Certains membres éminents de cette institution tentèrent de confier le poste subalterne d'« opérateur » à Gray, qui n'était apparemment pas disposé à l'accepter. Au lieu de servir de simple opérateur, Gray travailla étroitement avec Desaguliers, entre 1716 et 1719, sur des observations astronomiques et sur des expériences visant à montrer que les effets électriques se communiquent à d'autres objets (comme les feuilles d'or), placés à quelque distance d'un tube en verre frotté[12].

Desaguliers commença à présenter les bonnes techniques permettant de produire ces effets électriques et les relia aux éléments de la doctrine newtonienne. En mars 1720, par exemple, il indiqua aux membres de la Royal Society comment détecter le lien entre le phosphore et la lumière pourpre qui apparaissait lorsqu'une

boule de verre, que l'on avait vidée de son air et que l'on faisait tourner à grande vitesse, était vivement frottée par la main : « Si vous ouvrez la boule de verre et que vous [l']approchez de votre bouche ou de votre nez, la même odeur ou le même goût que celui provenant de la combustion du phosphore » pouvait être détecté. Cette remarque fut à l'origine d'un débat, auquel Newton participa pour une fois, sur la respiration, l'électricité et la vitalité.

Desaguliers présenta ces expérimentations dans l'enceinte de la Royal Society, mais également à l'extérieur. Les mains « fabriquaient » de l'électricité et indiquaient quand celle-ci apparaissait. Desaguliers indiqua dans ses conférences que, pour savoir lorsque le tube de verre était suffisamment électrisé, « vous dev[i]ez déplacer prestement l'extrémité de vos doigts sur le tube, comme si vous vouliez le frotter dans un sens perpendiculaire à son axe ». Le philosophe naturel de Leyde Willem Jacob's Gravesande affirma pour sa part que, pour être correctement électrisé, le tube de verre devait être frotté dans la direction de la main qui le tenait. Mais l'ingénieur suédois Marten Triewald rapporta que, dans quelque direction qu'il frottât le tube, « même s'[il avait] effectué cette expérience cent fois, [il n'avait] jamais découvert la moindre différence sensible ». Desaguliers rétorqua que, sans aucun doute, la main ou la manche du professeur hollandais avait touché le tube lorsqu'il l'électrisait, « en conséquence de quoi, il avait détruit une grande partie de la vertu [électrique] provoquée par le frottement dans une direction contraire[13] ».

Équipés de boules rotatives et de tubes de verre, les démonstrateurs tentaient « prestement » de montrer aux foules les caprices des feuilles de laiton, des plumes ainsi que des étincelles. Les phénomènes électriques dépendaient des techniques manuelles appartenant à des individus pouvant s'apparenter à des

démonstrateurs compétents mais aussi à de simples marchands de curiosités. Lorsque Gray demanda une pension à Flamsteed ou à Sloane, il leur rappela, d'une part, la modestie de ses moyens et l'humilité de son état et, de l'autre, les dépenses en livres et en instruments que ses recherches nécessitaient. D'éminents membres de la Royal Society considéraient que le « pusillanime » Gray redoutait fort la compagnie de si nombreux experts. Lorsque Gray put assister aux réunions de la Royal Society, ce ne fut que sous la forme d'une permission spéciale ou d'une invitation : le teinturier du Kent ne devint un membre de la célèbre institution londonienne qu'en 1730[14].

Gray « le pusillanime » fut toutefois reconnu comme un individu doté d'une dextérité hors du commun. Son ancienne collaboratrice, la poétesse Anna Williams, rendit hommage dans son éloge funèbre à l'« auteur de la présente doctrine de l'électricité » et notamment à la « dextérité de sa main ». « Il avait une technique particulière pour exciter cette propriété [l'électricité] par friction avec sa main et il fut le père, ou tout du moins le premier propagateur, de l'électricité », rappela, pour sa part, William Stukeley. Pour comprendre l'importance d'un tel « tour de main » dans la théorie et la pratique de la philosophie naturelle, il suffit de comparer les propos tenus par Stukeley sur Gray aux commentaires du même Stukeley sur le savoir-faire du jeune Isaac Newton :

> Une compétence mécanique [*i.e.* manuelle] est d'une aide considérable dans la conduite des expérimentations. Ceux qui la possèdent ont sans conteste une meilleure idée des choses et voient plus loin que les autres. […] Faute d'une maîtrise de ces techniques manuelles, nombreux sont les philosophes

> [de la nature] qui échafaudent une hypothèse dans la quiétude de leur cabinet.

Les références à la dextérité manuelle de Gray revêtent aussi une importance, dans la mesure où ce dernier n'a pas manqué de mettre l'accent sur les différences existant entre les techniques de Hauksbee, lequel utilisait des morceaux de papier pour frotter le tube de verre, et les siennes propres. À la fin de l'année 1720, dans sa résidence londonienne, à la campagne, puis à la Royal Society, Gray a fait montre de sa capacité à donner « quelque degré d'électricité » à des plumes, des cheveux, de la soie, ainsi qu'à d'autres substances, en utilisant ses seuls doigts, et non un tube de verre. Les théories de Gray sur les pouvoirs de ses doigts servaient à montrer à son public que ce dernier avait tort de limiter les effets électriques ou lumineux au verre ou à des machines [15].

La dextérité remarquable de Gray s'explique par son « parcours professionnel » : à l'instar de son père et de son frère, Gray était teinturier. Depuis 1692, il travaillait à Cantorbéry, un grand centre de la soie et du textile. On s'est parfois servi du métier de Gray pour expliquer ses faiblesses : le fait est que ce dernier n'a pas manqué d'évoquer les souffrances liées à l'exercice de son art. En mai 1706, il confiait à l'astronome royal John Flamsteed qu'il ne pouvait effectuer d'observations en raison d'une douleur au dos ; puis, au mois de juillet 1711, il demandait désespérément au secrétaire de la Royal Society, Cromwell Mortimer, d'intercéder auprès des administrateurs de Charterhouse, une « maison de retraite » pour personnes désargentées, afin qu'ils lui octroient une place dans cette pension et lui permettent ainsi de poursuivre ses travaux en astronomie et en navigation. En effet, disait-il,

> j'étais déjà si infirme que je n'étais plus capable d'exercer ma profession sans éprouver plus de difficultés et de souffrances qu'auparavant, en raison d'une torsion au dos que je me suis faite quelques années auparavant[16].

Mais les techniques corporelles en vigueur à la fin du XVII^e^ siècle n'expliquent pas seulement l'incapacité de Gray ; elles permettent également de comprendre son extraordinaire « tour de main ». À Cantorbéry, le tissage de la soie et la teinture connurent un grand essor au cours des deux dernières décennies du XVII^e^ siècle. Confronté à une augmentation des importations de soies et de calicots, le gouvernement anglais tenta de protéger le commerce national et favorisa le secteur de la teinture et de l'imprimerie. Certains des premiers membres de la Royal Society – Robert Boyle, Robert Hooke et William Petty – tentèrent de « formaliser la philosophie de la couleur » mais leurs théories passèrent inaperçues dans l'univers confiné de la teinturerie. Les artisans teinturiers étaient des experts, sûrs de leur savoir-faire dans le domaine de la texture des fils, du choix de la couleur, ou encore des techniques manuelles permettant de manipuler les tissus, d'estimer la température ainsi que le poids des textiles. Leur charte de travail, une grossière compilation de procédés établis à la fin du XVII^e^ siècle par des chimistes allemands et, en France, par l'administration de la teinture à la manufacture royale des Gobelins, fut traduite et publiée à Londres en 1705.

Les délais propres au bouillissage du bain de teinture requéraient du maître teinturier qu'il « laisse refroidir complètement le bain de teinture afin que l'on pût y mettre la main ». Lorsqu'il s'agissait d'acheter des charbons de bois, « qui nécessitent un jugement éclairé afin de les choisir correctement », il était « nécessaire de veiller

particulièrement à leur poids ; pour ce faire, placez une poignée de ces charbons dans votre main et, si vous les trouvez lourds, c'est un très bon signe ». L'évaluation du moment où la teinture se fixait au textile était une tâche tout aussi importante. Ici, il fallait faire montre d'un véritable savoir-faire dans le contrôle des fibres textiles : « Passez une fibre textile au bain de teinture puis frottez-la entre vos doigts pour vérifier si un poil y est accroché. » Les descriptions de ces techniques (étirage, traitement et coloration du textile) furent très largement vulgarisées et jouèrent un rôle économique majeur en Grande-Bretagne et en France au début du XVIII^{e} siècle[17].

Les similitudes entre les techniques du teinturier et celles utilisées dans les premiers travaux sur l'électricité sont frappantes. Lors de ses premières expérimentations sur l'électricité effectuées à Cambridge en 1708, Gray avait déjà montré qu'il était capable de « pincer les fibres d'une plume entre son pouce et son index », puis d'étudier précisément ses différentes réactions. Une dizaine d'années plus tard, dans le premier mémoire qu'il publia sur l'électricité, Gray montrait que le mouvement attractif de la plume sur le tube de verre l'avait poussé à se demander si une plume qu'il frotterait entre ses mains n'obtiendrait pas le même effet. Il présenta une série de techniques, qu'il testa en premier lieu dans le Kent, permettant de manipuler « de petites fibres duveteuses » et des « poils fins » en « les frottant trois ou quatre fois entre mes doigts ou plutôt entre mon pouce et mon index » et, après cela, « je pensai […] à des fils de couleurs et de finesses différentes ». Gray travailla avec des rubans de soie grossière et fine, avec du lin de Hollande, de la mousseline ainsi que de la laine, et donna des instructions importantes : pour obtenir des étincelles à partir d'un papier de carton électrisé, « le papier, avant d'être frotté, devait être aussi

chaud que les doigts pouvaient le supporter ». La remarquable dextérité manuelle de Gray dépendait d'un véritable savoir-faire gestuel : frottage méticuleux de fils fins, mais aussi de cheveux et de fibres entre les doigts, estimation manuelle de la température et choix d'un grand nombre de soies et de lins. Certains historiens ont évoqué le caractère « ludique » et « décousu » de ces expériences et ont vu en Gray un simple empiriste. Mais ces historiens passent à côté de la fonction sociale d'un tel empirisme « ludique ». Dans ses expérimentations, Gray manipulait des matériaux utilisés quotidiennement par les teinturiers et il utilisait des techniques manuelles à l'œuvre dans le secteur de la teinturerie [18].

Pendant cette période, les individus qui s'adonnaient à des expérimentations sur l'électricité maîtrisaient souvent les techniques de la teinture. Henry Hunt, qui fut le premier contact de Gray à Londres, et qui était l'opérateur et le bibliothécaire de la Royal Society, avait sans doute été auparavant teinturier à Cantorbéry. Hauksbee était à l'origine un négociant en textiles ; quant à Dufay, il fut le premier membre de l'Académie royale des sciences chargé par l'État français de diriger le service des teintures à la manufacture des Gobelins. Le secteur de la teinture était encore dominé par la tradition artisanale et, même réglementé, était rétif à l'expertise scientifique. Dufay, qui utilisa ses compétences dans le domaine de la teinture pour montrer l'importance des trois couleurs primaires (le rouge, le bleu et le jaune), considérait que « la teinture est l'un des arts qui peuvent donner lieu aux expérimentations les plus singulières pour ceux qui veulent l'étudier en "physiciens" [philosophes naturels] [19] ».

Dans ses premières expérimentations électriques sur le frottement des corps dans le vide, Hauksbee choisit délibérément de frotter de l'ambre avec un type de laine « comme celui que l'on vend

communément pour fabriquer des jarretières. J'ai choisi d'utiliser la laine la plus grossière pour sa rugosité ». Les historiens ont montré avec pertinence que le choix de l'ambre par Hauksbee pouvait s'expliquer par les expérimentations contemporaines faites sur les huiles sulfatées ; quant au soin minutieux présidant au choix du type de laine adéquat, il peut s'expliquer par l'expertise de Hauksbee dans le domaine du textile[20].

Les mêmes considérations s'appliquent aux échanges entre Dufay et Gray sur le rôle des différentes couleurs dans la production d'effets électriques. En 1730, Gray démontra que les corps rouges, orange et jaunes étaient plus fortement attirés que les corps verts, bleus ou violets. Dès l'été 1735, il montra également que des fils de soie de couleurs différentes, servant de suspension aux corps électrisés, avaient des aptitudes différentes dans l'électrisation de ces corps. Après avoir travaillé sur toute une variété de rubans de soie et de gazes et après avoir projeté des couleurs prismatiques sur un tissu blanc, afin d'étudier des théories opposées sur les effets optiques et chimiques de la couleur, Dufay répondit à Gray que ces différences devaient procéder « non pas de la couleur en tant que couleur, mais des substances qui sont employées dans la teinture » : des tissus de teintures différentes contenaient en effet des niveaux d'humidité différents[21]. Dans les expérimentations électriques pratiquées au début du XVIII^{e} siècle, les analyses apparemment aléatoires des variables régissant une production fiable d'effets étaient associées à un savoir-faire local dans des arts tels que celui de la teinture. Il importe d'examiner où et comment cette expertise a été utilisée.

Le savant et l'artisan

À la fin des années 1720, Stephen Gray pouvait compter sur le soutien de Granville Wheler, un jeune aristocrate fortuné qui possédait une grande propriété dans le Kent ; ce soutien devait changer sa réputation auprès des savants. Wheler rencontra Gray avant 1729, probablement par l'entremise de John Godfrey, un ami commun, qui possédait lui aussi des terres dans le Kent, et qui était membre de la Royal Society. Dans son étude sur l'économie du comté du Kent, qu'il effectua dans les années 1720, Daniel Defoe évoquait l'opulence des domaines fonciers comme ceux de Godfrey et de Wheler, comparant la richesse de ces derniers à l'importance du commerce de la soie et du textile à Cantorbéry, ville dont le frère de Gray était le maire, et où les réfugiés huguenots avaient afflué pour venir travailler dans les ateliers des tisserands et dans les soieries. Defoe remarquait qu'il y avait dans cette ville, qui fut le cadre des nouveaux travaux sur l'électricité de Gray[22], des personnes intéressantes et de qualité. La bibliothèque de Wheler contenait les nouveaux « canons » de la philosophie naturelle anglaise – des livres de Hooke, Boyle, Newton, Hauksbee et Desaguliers. Son père, Sir George Wheler, qui était décédé, avait été l'exemple par excellence du savant chrétien ; il avait été en outre un fervent royaliste, et avait présenté « l'économie chrétienne » dans son ouvrage *Le Monastère protestant*, qui avait été un grand succès de librairie :

> Comme cette nation serait glorieuse, si toutes les résidences aristocratiques se transformaient en académies dédiées aux arts et aux sciences honnêtes ainsi qu'en palais de l'hospitalité chrétienne ! Comme cette nation serait glorieuse,

> si toutes les demeures aristocratiques se transformaient en autant de collèges de conduite éclairée, d'éducation vertueuse et de dévotion !

À l'instar de nombreux fils cadets de l'aristocratie du Kent, Granville Wheler fut envoyé à Cambridge, puis il entra dans les ordres pour devenir pasteur. Il entra, par son mariage, dans la famille conservatrice (*tory*) des comtes de Huntingdon, se liant ainsi avec d'importants et ardents défenseurs de la religion, puis transforma Otterden Place, le domaine qu'il acquit en 1725, en un foyer de philosophie naturelle. Dans son domaine, les serviteurs, qui étaient vivement incités à effectuer « un travail industrieux », « étaient souvent utilisés, lors des expérimentations, comme assistants ou comme sujets des expériences[23] ».

Entre le printemps de l'année 1729 et la mort de Gray, en février 1736, Wheler et Gray effectuèrent ensemble des expérimentations. Comme le rappelle Wheler, « nous faisions de nombreuses expérimentations ensemble, avec le même plaisir et le même étonnement » ; « nous effectuions de nombreuses expériences, ensemble ou séparément, et nous échangions nos pensées au fur et à mesure ». Le 1er mai 1729, Desaguliers montra à la Royal Society les premières expérimentations « curieuses » sur la communication de la « vertu électrique » à des plumes, des corps métalliques ou encore à des boules d'ivoire et ce, à partir d'un tube de verre frotté. Déçu par l'impossibilité d'augmenter la distance de transmission de la « vertu électrique » au-delà de quelques mètres, ainsi que par l'échec de son montage vertical à partir du dôme de la cathédrale Saint-Paul – faute d'« assistants » –, Gray partit le lendemain pour le Kent[24]. Chaque été, Gray résidait à Otterden Place et il travaillait pour multiplier les lieux dans lesquels il pouvait transmettre la vertu

électrique, la distance de transmission ou encore le nombre de substances électrisées. À l'automne, il s'en retournait à Londres pour effectuer d'autres expériences et il rédigeait des mémoires pour le compte de la Royal Society. Wheler contribua à faire de Gray un « auteur ». C'est en 1731 que Gray fit parvenir son premier mémoire du Kent jusqu'à Londres ; ce dernier fut accueilli avec un certain succès. Au mois de novembre suivant, il présenta des « mises en scène expérimentales » à Crane Court, devant le prince de Galles, et la Royal Society lui décerna la médaille Copley. En mars 1733, lors de démonstrations effectuées à Crane Court, il montra que la vertu électrique pouvait être transmise sans contact immédiat avec le tube de verre. En France, l'Académie royale des sciences apprit la nouvelle par l'entremise de la Royal Society, et Charles François Dufay put reproduire et prolonger ces expérimentations. Dufay et ses assistants se rendirent à Londres. Au cours du mois de septembre 1733, assisté de l'abbé Jean Antoine Nollet, le célèbre académicien français put reproduire les expérimentations sur la transmission de la vertu électrique sur une longue distance, dans un jardin situé à proximité de Paris. Auparavant limitée à Charterhouse, Crane Court (Londres) et Otterden Place (dans le Kent), la communication de la vertu électrique acquit dès lors une renommée internationale[25].

Le calme relatif qui régnait à Otterden Place permettait aux expérimentateurs de peaufiner leurs expériences en coulisse avant de les mettre en scène à Londres, puis de les faire connaître dans d'autres lieux. Au début de la période moderne, les élites anglaises, qui étaient sensibles à la rumeur, à la circulation du savoir ainsi qu'au caractère évanescent de l'honneur et du crédit, prisaient tout particulièrement le calme et l'intimité domestiques. Gray se rendit dans le Kent parce qu'« à la campagne, […] je savais que j'avais la

possibilité de poursuivre mes expériences bien plus loin que je ne l'avais fait auparavant ». À Otterden Place, Gray attachait des cordons de ficelle dans la galerie se trouvant dans l'entrée de la demeure de Wheler ou encore du haut du clocher. Par la suite, Wheler lui proposa de faire des expérimentations sur la propagation horizontale de l'électricité en suspendant des cordons de soie fine. Les supports en laiton qui servirent tout d'abord à suspendre les cordons de ficelle n'ayant pas permis de mener à bien les expérimentations, Gray et Wheler convinrent que des cordons de soie convenaient, non parce que la soie était fine, mais parce qu'elle ne pouvait transmettre la vertu électrique. « Grâce à la méthode appropriée inventée par M. Wheler, à ses innombrables efforts, mais aussi grâce à l'aide de ses serviteurs, nous avons réussi bien au-delà de nos espérances. » L'esprit d'initiative de Wheler et son autorité sur la main-d'œuvre permirent de porter la distance de transmission de la vertu électrique à plusieurs centaines de pieds (un peu plus de 200 mètres), dans la grande galerie, puis dans la grange, les jardins et même les champs. Comme le rapporte Gray dans une lettre, Wheler « se rendit dans les champs et frotta le tube lui-même, afin que je pusse voir qu'il y avait bien une force attractive ; ce dont je fus témoin ». Plus tard au cours de l'été, puis de nouveau l'année suivante, ses collègues du Kent aidèrent Gray à propager l'électricité à distance, sans contact avec le tube de verre frotté ni avec le cordon de soie[26].

Ses relations dans le Kent permirent à Gray d'obtenir des appareils mais aussi un statut ; quant à Wheler, il lui permit de maîtriser le savoir-faire du teinturier. Wheler prit l'initiative et fournit un aimant pour étudier les effets du fluide magnétique sur les effluves électriques ; il démontra en outre que, chaud ou froid, le fer avait un pouvoir tout aussi attractif. En 1732, au cours de son

séjour estival à Otterden Place, Gray voulut vérifier si la transmission de la vertu électrique pouvait être pratiquée dans le vide. Wheler fournit sa pompe à air pour montrer que le soufre ainsi que des feuilles de laiton pouvaient être électrisés dans un réceptacle vidé d'air. L'air n'était pas nécessaire, en effet, pour transmettre l'électricité[27]. L'automne suivant, en l'absence de Gray, Wheler tenta de propager la vertu électrique dans du verre et entre du verre et du fil. Il analysa les changements intervenus dans « l'équilibre d'attraction » des corps électrisés dans des récipients en verre comme la création d'un « état de répulsion », expression qu'il inventa. Il découvrit que les objets non électrisés (fils, soies et plumes) approchaient du tube de verre frotté, le touchaient, puis étaient repoussés. À l'été 1733, Gray et Wheler définissaient les nouvelles propriétés de la vertu électrique. Ils considéraient désormais que

> l'électricité n'est pas tant une vertu attractive ou répulsive, qu'une vertu qui attire tous les corps qui ne sont point électriques et qui repousse tous les corps qui le sont devenus par sa transmission.

Wheler et Gray entreprirent d'établir des liens entre cette vertu et des faits de solution et d'évaporation tirés de la philosophie naturelle londonienne[28].

Il y avait ici lieu de croire que des forces répulsives existaient entre des particules. Les expérimentateurs du Kent se référèrent à l'explication récente de la formation des sphères par Edmond Halley ou à l'analyse du flux sanguin par Stephen Hales. Wheler indiquait que des globules sanguins électrisés par friction acquerraient une force répulsive et ne coaguleraient pas :

> La nécessité de l'exercice nous apparaît plus fortement que jamais, afin de conserver le corps en bonne santé, car nous pouvons observer ici les dispositions mêmes que prend la nature pour pallier ses insuffisances[29].

Le comportement du corps humain devint un sujet d'actualité. En avril 1730, Gray effectua des expérimentations sur un garçon de Charterhouse : il le suspendit horizontalement et approcha près de ses pieds un cylindre de verre frotté. Les feuilles de laiton, disposées sur un petit guéridon près du visage de l'enfant, se mirent à virevolter autour de sa tête et de ses cheveux. Gray considéra que « les humains reçoivent une quantité plus grande d'effluves électriques ». Deux ans plus tard, il développa l'expérimentation sur deux jeunes gens, dans la demeure de John Godfrey, en utilisant des galettes de résine au lieu de cordons de soie. Cette mise en scène expérimentale « étonnante » commença à attirer les foules et le personnel du Kent fut mis à contribution. Le contrôle de ces phénomènes joua un rôle important lorsque, à la fin de l'année 1733, Dufay lui-même se fit suspendre et électriser. Si une autre personne entreprenait de le toucher, alors

> je ressentais immédiatement dans mon corps un ou plusieurs picotements, avec un crépitement, qui causaient à cette personne ainsi qu'à moi-même une petite douleur et, dans le noir, ces crépitements étaient autant d'étincelles luminescentes.

La Royal Society eut vent de l'expérience effectuée par Dufay au printemps 1734. Dufay et Nollet se rendirent à Londres. Dans le cabinet de Crane Court, Gray plaça « six ou sept personnes » sur une

série de galettes de résine ; il les fit se prendre par la main, électrisa une extrémité de cette chaîne humaine et montra que les feuilles d'or se mettaient à virevolter à l'autre extrémité. L'humble teinturier devint un impresario avisé. Plus tard au cours du printemps, Gray reproduisit l'expérience de Dufay en plaçant un garçon sur de la résine et en utilisant une barre de métal pour faire jaillir les étincelles. Au cours de l'été, le teinturier se rendit à Otterden Place et réquisitionna le valet de pied de Wheler, « un solide gaillard » qui « se retrouva piqué ou brûlé ». Les conclusions cosmologiques ne tardèrent pas à être tirées. « Même si ces effets ne sont présents que dans les petites choses », il était évident que « ce feu électrique […] semble de même nature que celui du tonnerre et de l'éclair[30] ».

Wheler et ses collègues transformèrent leur corps et les instruments électriques en autant d'objets d'expérimentation. Wheler apprit à nouer un tas de ficelles par l'extrémité supérieure et inférieure et à les faire se dresser sous l'effet de la vertu électrique :

> Je ne pouvais observer sans quelque plaisir le nœud reliant l'extrémité inférieure des ficelles se soulever sensiblement, alors que les ficelles se dressaient. Je ne pouvais m'empêcher d'imaginer que mes tas de cordons de soie étaient autant de fibres musculaires.

En septembre 1734, Gray put tirer des étincelles de l'extrémité d'une barre de fer électrisée, reposant sur des galettes de cire.

> Ces éclairs de lumière apparaissent chaque fois que je frotte le tube, vers le haut ou vers le bas, mais les plus grands éclairs se produisent lorsque ma main frotte le tube de haut en bas.

Gray conduisit alors des expériences électriques sur l'ensemble du corps humain. En mai 1735, il suspendit un garçon à des cordons de soie et il électrisa ses pieds. Lorsqu'un individu approchait sa main de l'enfant, il était électrisé : de sa main jaillissaient des étincelles et il ressentait des « électrochocs » mais, après environ quatre contacts, le garçon perdait sa vertu électrique[31]. Gray et Wheler tentèrent de tirer parti de leurs expérimentations électriques pour développer des théories cosmologiques. Dans la philosophie naturelle du XVIII^e^ siècle, il s'agissait d'une tentative audacieuse d'acquérir un statut plus grand, puisque ces théories touchaient aux causes et aux conséquences possibles de la gravitation. Tel était précisément le statut que les planétaires « newtoniens » venaient d'acquérir.

Dans ces expérimentations dont l'enjeu était important, les problèmes de la reproduction des expériences étaient légion. Dufay avait affirmé que les animaux vivants transmettaient mieux la vertu électrique que les animaux morts. Si les expérimentateurs anglais n'avaient pu reproduire cette découverte, c'est parce que « les Français ne consommaient pas leurs aliments tant que ceux-ci n'ont pas atteint un certain degré de putréfaction ». Toutefois, « nous pensons que M. Dufay est un homme d'honneur et de grande valeur ». Wheler eut recours au langage de l'honneur pour définir ses relations avec Gray et Dufay. La réticence de Wheler à « être un auteur » était compensée par sa « volonté de transmettre […] par ses mains les expérimentations à quiconque ces dernières devaient leur existence ». Il fallait que d'autres personnes pussent partager la dextérité manuelle de Gray, mais un savoir-faire trop local ou trop terre à terre était souvent taxé de magie. Les paroissiens de Wheler considéraient que ce dernier était un « mage » ; quant au public qui assistait aux conférences de Desaguliers, il le regardait de la même

manière. Ainsi que l'a fait remarquer plus tard un membre de la Royal Society,

> l'ignorance était telle dans les nombreux endroits où je me suis rendu qu'ils m'ont pris pour un magicien […]. Il en est allé de même pour notre célèbre expérimentateur, M. Desaguliers[32].

Il fallait transmettre le savoir-faire et les instruments des expériences. Lorsque Mortimer demanda que l'équipement électrique de Gray fût transporté de Cantorbéry à Londres, y compris « les grands tubes et tiges de verre, ainsi que les cordons de soie et de laine peignée », Wheler remarqua que « les galettes [de résine] doivent être emballées très soigneusement, faute de quoi elles souffriront. Veillez à les emballer à la fois à l'aller et au retour de Londres ». Les charretiers gagnaient confortablement leur vie en transportant ces instruments entre Londres et le comté du Kent avec tout le soin requis[33]. À Londres, les membres de la Royal Society tentèrent d'interpréter, sur le plan de la philosophie naturelle, les expériences menées par le groupe du Kent. Lorsque fut publié le mémoire de Gray sur la communication électrique, Desaguliers rappela à Hans Sloane, le nouveau président de la Royal Society, que Newton avait cru en l'existence d'un médium subtil et avait « très prudemment insinué » qu'il s'agissait là de la cause de la gravité. « Si la même cause s'applique à l'électricité et au magnétisme, il est fort probable qu'il s'agirait d'une découverte de la première des causes secondes. » Halley affirma dans le même sens que les travaux de Gray

> semblaient confirmer dans une large mesure la théorie de Sir Isaac Newton, concernant l'existence d'un médium universel qu'il appelle parfois l'éther, parfois un esprit électrique.

Desaguliers ne tarda pas à commenter les travaux de Gray. On pouvait peut-être considérer que l'électricité rassemblait toutes les « forces de la nature » et on pouvait l'identifier à la notion très répandue et influente de « fluide actif ». La destinée du planétarium électrique fut profondément influencée par ces liens entre techniques locales et forces universelles[34].

La construction du planétarium électrique

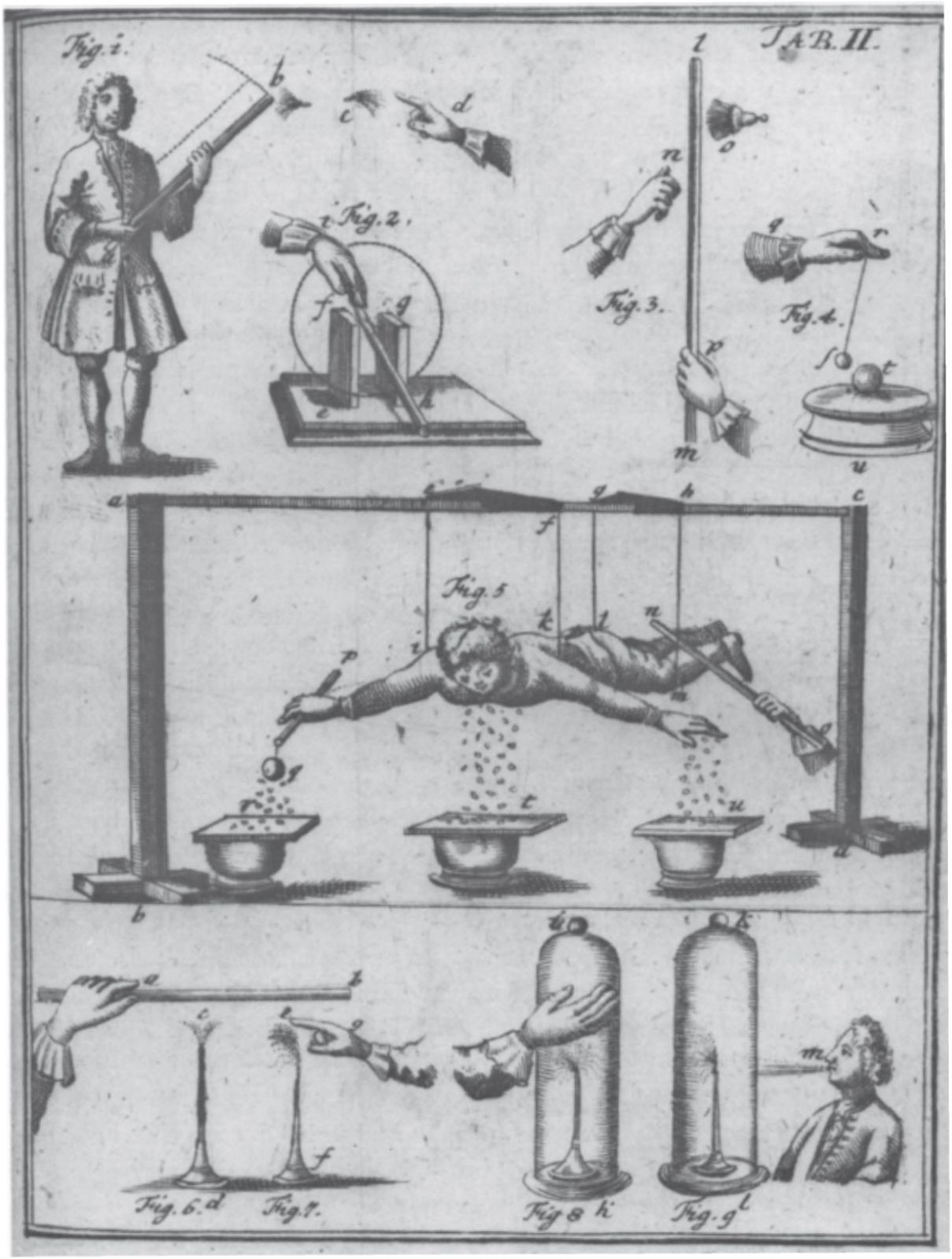
C'est en février 1736 que Charles François Dufay apprit la mort de Stephen Gray et qu'il affirma à propos du décès du scientifique anglais : « C'est une grande perte pour la physique expérimentale. » Les récentes expériences de Gray sur la transmission de la vertu électrique entre des garçons et des adultes avaient été reproduites à Paris. L'académicien français négocia avec George Graham, le fabricant d'instruments de la Royal Society, pour que ce dernier calibre les instruments que ses collègues français devaient emporter avec eux à Lapland afin d'étudier la forme de la Terre et tester les éléments de la philosophie naturelle newtonienne. Dufay apprit alors que Gray avait réussi à établir des liens entre électricité et physique céleste. « Je vous saurais gré de pouvoir les partager avec moi et je ne manquerai certainement pas de lui rendre tous les

honneurs qui lui sont dus[35] », écrivait Dufay à Mortimer à propos du regretté Stephen Gray.

L'académicien français était bien informé. Le 6 février, juste une semaine avant sa mort, Gray avait écrit à Wheler qu'il avait effectué certaines expériences qui montraient que de petits corps électrisés tournaient en orbite autour de corps plus grands, dans le même sens que les planètes tournent autour du Soleil. Mortimer rendit visite au teinturier du Kent afin d'obtenir des détails à ce sujet. Gray indiqua que ces « révolutions » étonnantes lui permettraient de peaufiner ses recherches sur l'électricité. Il espérait « étonner le monde avec un nouveau type de planétarium jamais imaginé auparavant » et il souhaitait que « ces expériences permettent d'établir une théorie expliquant les mouvements du grand planétarium de l'univers ». À l'article de la mort, l'électricien ne put fournir que la « recette » la plus simple en la matière. Il électrisa une galette de résine de huit pouces de diamètre (20 centimètres) en la réchauffant, puis en la battant. Il plaça une petite boule de fer d'environ un pouce de diamètre au centre du gâteau. Puis il lesta un fil d'un petit bout de liège et le suspendit au-dessus de la boule de fer. La boule de liège se mit à tourner autour de la boule de fer, d'ouest en est. Si l'on déplaçait la boule de fer du centre du gâteau, ou si le moule du gâteau adoptait une forme ellipsoïdale, alors la boule de liège se déplaçait en suivant une orbite elliptique. Gray pouvait obtenir la même orbite en supprimant le gâteau et en plaçant autour de la boule de fer un cerceau de verre électrisé ; en revanche, le mouvement orbital de la boule de liège était moins net sans le gâteau et sans le cerceau de verre.

Le teinturier utilisa quelques ressources traditionnelles mises au point par le groupe de travail du Kent. Ce dernier avait appris à fondre de la résine ou de la cire pour fabriquer des « gâteaux », et il

avait acquis un savoir-faire dans l'observation des corps légers placés à proximité. Les membres du groupe de travail s'attendaient également à ce que leurs corps, et notamment leurs mains, soient sujets à des effets électriques importants. Gray proposa de remplacer sa propre main par d'autres matières animales, notamment des cuisses de poulet ou de la viande crue, mais il ne pratiqua jamais cette expérience. Il remarqua qu'un homme appuyant ses mains sur ses genoux les verrait bouger de concert, « sans volonté ni intention ». La même chose advenait aux mains et au visage, placés près d'un mur[36]. Ces nouvelles expérimentations étaient-elles des enquêtes sur les mouvements involontaires du corps humain ou des études sur le système solaire, tel qu'agencé par le Grand Architecte ?


TAB. II.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5
Fig. 6. d
Fig. 7.
Fig 8 h
Fig. 9 l

2. Variétés de l'électricité expérimentale

Des représentations des nouvelles expériences de Stephen Gray furent insérées dans l'adaptation allemande des gravures originales de Jean Desaguliers sur l'électricité expérimentale. Au centre (figure 5), l'électrification d'un garçon suspendu ; en haut à droite (figure 4), le planétarium électrique, avec la main de l'expérimentateur, la balle centrale et le bouchon en orbite. D'après J.G. Doppelmayr, *Neue-entdeckte phaenomena* (Nuremberg, 1744), Figure 2.

Mortimer, qui avait effectué ses études de physique et de chimie à l'université de Leyde, reproduisit dûment ces expériences. Il ne pouvait obtenir d'orbites régulières avec le planétarium électrique et il commença donc à analyser les forces opérant sur la boule de liège. Il découvrit que son doigt exerçait une force répulsive à son encontre. Il remplaça alors la boule de fer par d'autres objets, disposés sur le gâteau. Il utilisa la boule de liège pour étudier l'espace autour du gâteau et de la boule de fer. Les extrémités du gâteau attiraient vivement la boule de liège, mais la force attractive était plus faible près du centre de la galette. La boule de fer repoussait essentiellement la boule de liège mais l'attirait vivement lorsque cette dernière était placée à une très courte distance de la boule de fer. Lorsque Mortimer immergea le dispositif dans l'eau « à mi-hauteur de la boule de fer » et qu'il plongea des morceaux de liège dans l'eau, il ne se produisit « aucune révolution autour de la boule comme j'aurais espéré en voir ». Il s'agissait d'expérimentations qu'il recommandait aux curieux. Le 1er avril, Mortimer lut la lettre de Gray à la Royal Society et fit publier des extraits du « testament électrique » du teinturier du Kent dans les *Philosophical Transactions*[37] (voir l'illustration).

Ces expérimentations furent cependant couronnées de succès dans le Kent. Wheler se rendit à Londres et apprit de Mortimer qu'il n'avait pu reproduire les mouvements orbitaux avec la boule de liège ; il effectua quelques essais préliminaires, puis s'en retourna

chez lui. À partir de ce moment-là, le planétarium électrique ne fonctionna que dans le Kent, à Otterden Place. Au début du mois d'avril, Wheler établit que la façon exacte de frapper le gâteau avec la main afin d'électrifier ce dernier revêtait une importance fondamentale. Le tour de main de Gray était conservé. Wheler s'était inquiété du fait que le phénomène s'expliquait par

> les tremblements involontaires du vieil homme. […] Mais lorsque j'envisageais la probité, la prudence et l'expérience de M. Gray, je ne pus m'empêcher de penser que j'avais été injuste à son égard en le soupçonnant.

Les mains du teinturier étaient dignes de foi, de « crédit », parce que ce dernier était devenu une référence morale. Il fallait battre le gâteau de manière perpendiculaire, et non de manière oblique, et il ne fallait pas non plus le frotter. « S'[il] le déplaçai[t] autour de son axe avec les doigts et le pouce de la main gauche », il obtenait des orbites dans la mauvaise direction et le frottement du gâteau détruisait tout effet. Wheler envoya ces instructions à Londres et Mortimer fit reproduire l'expérience par Desaguliers, mais les membres de la Royal Society demeuraient sceptiques. Mortimer confiait à Wheler :

> Nul ne peut être plus expérimenté que vous pour conduire des expériences électriques, vous qui les avez effectuées aux côtés de M. Gray pendant autant d'années, vous en qui M. Gray a vu l'instigateur de nombre de ses découvertes.

Les membres de la Royal Society reconnurent la valeur des ressources accumulées à Otterden Place. Il fallait donc transférer ces

ressources et ce savoir-faire dans la capitale[38].

Entre le mois de mai et le début du mois de juin 1736, Wheler devait jouer avec plusieurs variables : la manière dont le gâteau était électrisé, la matière de la boule placée au centre du gâteau, la disposition de la boule de liège, la façon dont lui, Wheler, tenait la ficelle, ainsi que la direction, la forme et la vitesse de l'orbite. Il introduisit plusieurs variables. S'il frappait le gâteau de manière oblique, la boule de liège tournait d'est en ouest. Le dispositif fonctionnait aussi bien avec une boule de fer qu'avec une boule d'ivoire. S'il répartissait des bouts de liège sur toute la surface du gâteau, « ma petite planète » changeait de direction. Les mouvements orbitaux étaient plus nets lorsqu'il augmentait la longueur de la ficelle jusqu'à deux pieds (environ 60 centimètres), de telle sorte que « mon corps et ma main étaient placés pour n'avoir aucun effet ou un effet minime sur le gâteau ou sur la boule de liège tournant autour de lui ». Wheler conclut que le mode de suspension de la boule de liège était aussi important que le mode d'électrisation.

> Si l'on ne veille pas à ce que […] le corps pendulaire soit suspendu au-dessus du centre du gâteau, on peut être trompé et ce corps peut se retrouver plus près d'une main que de l'autre.

Assuré de la fiabilité de ce système, Wheler tenta alors de le rendre plus pertinent au plan astronomique. Il plaça plusieurs boules sur le gâteau et découvrit qu'il ne pouvait obtenir d'orbites régulières, d'ouest en est, qu'en plaçant cinq boules sur la galette, tout au plus. Il pouvait obtenir des orbites excentriques en plaçant deux grosses boules à une grande distance l'une de l'autre :

> J'effectuai plusieurs tentatives pour découvrir un mouvement autour de l'axe du corps en orbite, soupçonnant, sur la base du raisonnement que j'avais adopté, que se trouvait là cachée la cause de ce mouvement.

Il demanda donc à son serviteur, qui était « étendu sur le sol avec un fil de fer passant à travers le dispositif et la boule d'ivoire, au centre du gâteau », de faire tourner la boule d'ivoire alors que lui, Wheler, suspendait à des fils une boule de plumes duveteuses, qu'il plaçait à proximité. À sa grande satisfaction, lorsque la boule d'ivoire pivotait, la boule de plumes duveteuses tournait autour de son axe, d'ouest en est. Wheler considéra qu'il avait produit un modèle pertinent du système solaire, à savoir les planètes (ses bouts ou boules de liège), le Soleil (la boule d'ivoire), les satellites (mouvement obtenu avec plusieurs boules situées au centre du gâteau) et les comètes (mouvement excentrique autour de deux boules). Il rédigea un long traité sur le planétarium et l'envoya à Londres le 7 juin[39].

Mortimer accueillit cette découverte avec satisfaction. « Ce gentleman [Wheler] a tracé un chemin qui peut être difficilement emprunté par quelqu'un de moins compétent que lui. » Ce compliment était à double tranchant. Seul Wheler pouvait faire fonctionner le planétarium ; quant à ses phénomènes, ils semblaient difficiles à contrôler.

> Il a découvert une telle variété de mouvements différents et même contraires, dus à des changements de circonstances en apparence si minimes, que ces mouvements doivent sembler sans limites à toute personne ne possédant pas la clef de cette invention.

Ici, la maîtrise des techniques corporelles jouait un rôle important. « Il ajoute une ou deux précisions concernant la posture du corps, lorsque ce dernier place le gâteau et qu'il se trouve à proximité du dispositif expérimenté. » Desaguliers exigea d'obtenir des instructions complémentaires et testa « quelques expérimentations de M. Gray » dans la remise de la Royal Society au début du mois de juillet. De nouveau, Mortimer invita Wheler à se rendre à Londres. L'urgence était d'autant plus grande que Wheler entreprenait désormais de mettre au point une véritable cosmologie électrique, afin que ses expériences revêtissent une pertinence au plan astronomique[40].

Les travaux effectués par Wheler à l'automne 1732 avaient montré la répulsion mutuelle d'une série de corps électrisés et l'effet d'immersion dans « le médium électrique ». Wheler possédait des techniques lui permettant de montrer les forces répulsives que Hales et Desaguliers, entre autres, avaient commencé à évoquer à la fin des années 1720[41]. En 1736, Wheler considérait que ces forces répulsives étaient d'origine électrique. Dans une série de « questions », sur le modèle de celles posées par Newton dans son *Optique*, Wheler soutenait désormais que le système stellaire était rempli de fluide électrique, centré sur son Soleil. Des forces répulsives électriques de grande portée privaient chaque étoile de mouvement observable propre. Grâce à l'équilibre des forces électriques et gravitationnelles, les planètes et les satellites tournaient en orbite de manière permanente et pivotaient autour de leur axe. Dans le dispositif du planétarium électrique, des orbites excentriques se produisaient lorsque le bout de liège tournait autour de grosses boules, ce qui expliquait le comportement des comètes, qui devaient tourner autour de deux soleils très éloignés l'un de l'autre, et dont les queues étaient repoussées de la « fontaine

centrale » du système par la vertu électrique. Dix ans plus tard, lors des débats sur les atmosphères électriques entre William Watson et Benjamin Franklin, Wheler continuait à insister sur l'analogie existant entre le « médium qui entoure les corps » et « les atmosphères de corps plus grands, comme notre Terre » et il affirmait que cette atmosphère devait avoir des propriétés à la fois optiques et électriques. L'électricité terrestre pouvait être une force cosmique [42].

Le fonctionnement du planétarium électrique

Entre l'été 1736 et le printemps 1738, Wheler chercha à faire connaître le planétarium électrique au-delà des frontières de son domaine du Kent. Mortimer et Wheler firent parvenir des mémoires à Dufay, mais l'académicien français ne put reproduire leurs résultats. Il voulait connaître la taille du gâteau et celle de la boule centrale, la disposition des boules sur le gâteau pour démontrer le mouvement des satellites, ainsi que les moyens appropriés pour électriser le gâteau. Dufay savait qu'il était important de faire les gestes adéquats : il montra que les humains, lorsqu'ils étaient électrisés avec des mains couvertes de sueur, recevaient des secousses plus violentes mais faisaient jaillir des étincelles moins visibles que les objets métalliques. Il s'avérait difficile de maîtriser correctement les techniques manuelles du planétarium électrique.

> Faut-il absolument que ce soit par les doigts que l'on tienne le fil qui soutient la boule de liège ? Comment la boule de

> liège peut-elle avoir une rotation sur son axe suspendue par un fil ? Ce fil ne se tortillera-t-il pas, en ce cas la rotation doit se faire alternativement dans un sens et dans l'autre[43] ?

Dufay refusa de publier ses résultats tant qu'il n'avait pas obtenu les réponses à ses questions. Il ne tarda pas à trouver un principe expliquant ce qui semblait se produire à Otterden Place. À la fin des années 1730, les Parisiens furent témoins des tentatives effectuées par le professeur de philosophie Joseph Privat de Molières – entre autres – pour réconcilier la mécanique newtonienne avec la théorie des vortex (ou des « petits tourbillons »). Fontenelle considérait qu'« une importante atmosphère électrique ne serait pas surprenante » dans le cadre de telles théories. Dufay estimait qu'autour des corps chargés du même type d'électricité se trouvait un tourbillon qui les repoussait mutuellement. Le comportement de la boule de liège pouvait s'expliquer par l'équilibre entre sa gravité et la force répulsive existant entre son propre tourbillon et celui du système constitué du gâteau de résine et de la boule de fer. « Il se doit trouver sur la surface du gâteau un lieu circulaire où il y ait équilibre entre la force répulsive de la boule de métal et l'attraction du centre du gâteau. » Dufay le trouva facilement[44]. Mais les orbites régulières de la boule de liège – et, partant, sa véritable pertinence au plan astronomique – restaient une énigme. Ce problème sembla en passe d'être résolu, lorsque Dufay revint à Londres au printemps de l'année 1737 pour mettre en scène ses propres expérimentations électriques, notamment celles sur les étincelles et les tourbillons électriques autour des métaux et des animaux, et lorsqu'il fut admis membre de la Royal Society. Il apprit aux scientifiques londoniens qu'il existait différentes formes d'électricité et il leur montra comment utiliser leurs mains pour vérifier si telle matière était

électrisée. Après avoir observé comment Mortimer et Desaguliers « frappaient » leurs gâteaux de résine, Dufay indiqua qu'il « avai[t] agi exactement de la même façon » et il estima que « l'électricité joue peut-être un bien plus grand rôle qu'on ne pense dans le mécanisme de l'univers[45] ».

Dufay et Wheler n'eurent jamais l'occasion de se rencontrer. Après le départ de l'académicien français, le savant du Kent mit un autre mois pour se préparer à une mise en scène expérimentale à Londres, « mes outils de travail nécessitant un certain temps pour être mis au point ». Wheler indiqua que le degré d'inclinaison du gâteau, lorsqu'il frappait ce dernier, était important. Des séries de boules de formes différentes, qu'il associait à la relation entre satellites et planètes, avaient plusieurs effets sur le sens et la vitesse du mouvement orbital de la boule de liège. Il réexposa ensuite les éléments de sa cosmologie électrique, affirmant qu'elle expliquerait la rotation axiale des planètes, les parties du corps situées le plus près du Soleil étant les plus électrisées ; sa cosmologie électrique expliquerait aussi, selon lui, la position excentrée du Soleil en raison de la force répulsive exercée par les planètes. Wheler tenta d'appliquer ses théories pour établir le modèle de l'orbite lunaire, plus rapide et moins incurvée en syzygie qu'en quadrature, en bougeant la boule située au centre du gâteau. « Mais il doit faire beau temps pour que cette expérimentation réussisse. » D'autres problèmes se posaient. Il ne pouvait « faire bouger » la planète sans tenir son fil à la main.

> Je ne dois pas me résoudre à montrer mes expérimentations en public à la Royal Society avant de les avoir montrées auparavant à quelques personnes, […] six tout au plus, car je crains que la respiration d'un grand nombre de gentlemen et

> les mouvements perpétuels de l'air puissent entraver le succès de ces expériences.

Des préparatifs furent organisés pour la visite de Wheler, ainsi qu'« une observation et une confirmation [de ces expériences] sur la base de ses propres méthodes expérimentales[46] ».

C'est le 11 mai 1737, à midi, dans la bibliothèque de la Royal Society, à Crane Court, que Wheler exposa enfin sa « propre méthode ». Suivant les instructions de l'expérimentateur du Kent concernant le nombre limité d'observateurs, le public, trié sur le volet, comprenait le président de la Société royale, Hans Sloane, ses assesseurs Desaguliers et Mortimer, ainsi que les fabricants d'instruments Francis Hauksbee Jr., John Hadley et George Graham, spécialistes, entre autres, de la conception des planétaires. La nuit précédente, Wheler avait réchauffé un grand gâteau de cire, puis il l'avait frappé de manière perpendiculaire « sur toute sa surface avec les mains en position parallèle », avant de le recouvrir d'une fine couche de carton-pâte. Graham mit au point une méthode d'observation des mains de Wheler afin de suivre leurs mouvements. Lorsque la boule était placée au centre du gâteau, le bout de liège effectuait une orbite circulaire ; mais son mouvement décrivait la forme d'une ellipse lorsque la boule était excentrée. Wheler utilisa tout son savoir-faire pour obtenir des mouvements différents et pour reproduire les orbites des comètes. Lorsqu'il utilisait un cylindre de papier en lieu et place du bout de liège, Wheler pouvait le faire pivoter sur son axe et le faire tourner autour de la boule située sur le gâteau. L'expérimentation réussit, « à la satisfaction de toutes les personnes présentes ». Mais personne – pas même Hauksbee, Graham et Mortimer qui s'y essayèrent – ne put reproduire l'expérience. Wheler expliqua alors que son serviteur n'avait pas

réussi lui non plus ; il expliqua que c'était la même personne qui devait électriser le gâteau et tenir le fil en suspension. Cette indication était corroborée par un constat de Gray, qui avait affirmé qu'« il y avait quelque chose dans la main de l'homme qui était essentiel à l'expérience, et qu'il n'avait pas encore découvert dans un autre support du fil ». Mortimer rédigea un rapport sur l'ensemble de ces expérimentations ; il fit prêter serment aux témoins et envoya tous les documents à la Royal Society. Le mémoire fut rédigé avec beaucoup de soin. Trois expérimentations, considérées comme non pertinentes, furent laissées de côté, mais des instructions concernant la position des mains et des doigts de Wheler furent ajoutées. Le mémoire fut finalement publié dans les *Philosophical Transactions*[47]. Mais les expérimentations de Wheler n'avaient pas résolu l'énigme du planétarium électrique.

La Royal Society en vint à considérer que l'expérimentation ne réussissait pas toujours lorsque Wheler l'effectuait, et qu'elle ne réussissait jamais lorsqu'un autre expérimentateur la mettait en scène. Les savants de Crane Court décidèrent alors d'examiner la main de Wheler : en effet, lorsque le fil « était suspendu à un corps fixe », ce qui donnait lieu à une expérience plus « indubitable », l'expérimentation ne fonctionnait pas. Au cours de la semaine suivante, Wheler resta à Londres. Mortimer et Hauksbee participèrent aux expérimentations, sous le contrôle de Wheler. Lorsqu'il électrisait le gâteau lui-même, Mortimer parvenait à obtenir une orbite d'ouest en est ; mais tel n'était pas le cas de Hauksbee. Wheler estima alors qu'Hauksbee n'avait pas dû « battre » le gâteau correctement. Il indiqua ensuite aux deux hommes la manière dont il fallait tenir le fil suspendu à la plume, afin d'amplifier les mouvements orbitaux. Ce tour de main fonctionna et d'autres membres de la Royal Society vinrent assister à l'expérience

deux jours plus tard. Mais l'expérimentation échoua ; Wheler attribua cet échec au fait qu'il s'était coupé la main avec un tube de verre. Mortimer fut le seul membre de la Royal Society à reproduire l'expérience du planétarium électrique et il était aussi celui qui avait le plus travaillé aux côtés de Gray et de Wheler. Lorsque, au mois de juin, ce dernier s'en retourna à Otterden Place, les membres éminents de la Royal Society avaient acquis la conviction que Wheler avait démontré un fait de science concernant la main de l'expérimentateur, mais certainement pas sur le fonctionnement de la mécanique céleste[48].

L'année qui s'écoula à partir du printemps 1737 fut la dernière que Wheler passa dans le sud de l'Angleterre et au cours de laquelle il effectua ses ultimes analyses sur le planétarium électrique. Au mois de septembre, suivant la voie tracée par son père, il entra dans les ordres et se mit aussitôt à préparer son départ pour une paroisse située au nord de l'Angleterre. Mortimer confia à Dufay que Wheler n'avait « pu consacrer autant d'assiduité à ses recherches électriques qu'auparavant ». Wheler rappela plus tard le changement qui s'était produit à ce moment-là de sa vie : « Je cessai de faire des expériences électriques, de sorte que, pendant quelques années, il y eut une sorte de vacance dans cette partie de la philosophie [naturelle]. » Les membres de la Royal Society et de l'Académie royale des sciences de Paris reçurent encore quelques instructions du Kent, notamment l'indication que le bout de liège effectuait des orbites plus nettes s'il était très mouillé, et si le fil auquel il était suspendu l'était aussi. Ainsi mis au point, le modèle planétaire effectuait des mouvements orbitaux pendant une durée maximale d'une demi-heure[49].

Désormais sous la direction de plus en plus forte de Desaguliers, les membres de la Royal Society demandèrent aux proches du

regretté Stephen Gray de leur faire parvenir ses instruments de Cantorbéry. Comme toujours, ces derniers souffrirent lors du voyage. Au cours des premiers mois de l'année 1738, utilisant les instruments du Kent, Desaguliers mit en scène une série d'expérimentations devant la Royal Society, afin de donner un caractère systématique aux travaux effectués depuis peu par Gray et Dufay. Ces travaux faisaient partie intégrante de la « perspective qu'il était en train de tracer pour découvrir les véritables lois de l'électricité », notamment un modèle des fluides concernant le comportement des « conducteurs », ces composants des systèmes électriques qui permettent la communication de l'électricité. Il introduisit une nouvelle terminologie pour parler de l'électricité en tant que telle et évoqua les « supports » des systèmes de communication électrique. « J'ai entendu pour la première fois ces termes dans certaines expérimentations publiées par M. Desaguliers », confiait Wheler. Et ce dernier d'ajouter qu'il n'avait jamais apprécié ce genre d'expression :

> Il est du destin de la science, sous toutes ses formes et ramifications, d'employer de nouveaux mots au fil des avancées scientifiques, mais si l'on devait changer en permanence de termes […], il s'ensuivrait une véritable confusion[50].

Au cours des mois précédents, au début de l'année 1738, Wheler renonça à l'interprétation astronomique de son planétarium. Il mit tout en œuvre pour que l'abandon de son projet n'entache pas sa réputation de philosophe naturel. Il rédigea enfin lui-même un mémoire sur la base des expérimentations qu'il avait effectuées cinq ans auparavant. D'après lui, ces dernières faisaient pour la première

fois état des modes d'attraction, de contact et de répulsion qui régissaient les flux électriques. Ces démonstrations établissaient en outre, d'après lui, sa prééminence sur Desaguliers et Dufay et montraient dans quelle mesure les forces répulsives pouvaient expliquer les mouvements orbitaux. Toujours bienveillant, Mortimer s'empressa de publier le mémoire de Wheler[51].

Ce dernier réexposa alors son nouveau protocole, qui consistait à mouiller le fil, ce qui permettait ainsi d'obtenir des révolutions sur un laps de temps étonnamment long. Des centaines de fois, au cours d'intervalles de temps durant au maximum trente minutes, entrecoupés de moments de pause appropriés, Wheler soutenait son fil mouillé et observait sa planète de liège effectuer des mouvements orbitaux. Au final, il se mit à étudier son bras et sa main de manière systématique. Il avoua alors à Dufay qu'il avait toujours refusé de donner « une plus grande publicité à ses expérimentations », car il ne pouvait obtenir d'orbites « lorsque le corps pendulaire n'était pas soutenu à un point qui était incontestablement fixe », soit un objet n'ayant aucun contact avec son propre corps. Il excluait les tremblements et les pulsations de sa main, ainsi que les mouvements de l'air, parce que ces effets diminuaient au fil du temps. C'est la longueur de ses nouvelles expérimentations qui l'incitaient à examiner les effets de son propre corps. Avec le pied de son télescope, il fabriqua un accoudoir en bois et il découvrit que « l'expérimentation ne fonctionnait bien que lorsque l'accoudoir était situé au-dessous du champ électrique et lorsque le bras était appuyé jusqu'à l'épaule ». Il acquit ainsi finalement la conviction que les mouvements du planétarium étaient dus à « un secret mouvement de la main » imperceptible aux yeux de l'expérimentateur. Ni lui ni Gray n'avaient « perçu qu'ils avaient bougé [leurs mains] de quelque façon que ce fût ». Ce phénomène

devenait une expérimentation de « son propre cerveau » et l'atmosphère de « secret » qui l'avait entourée permettait d'expliquer qu'il avait toujours refusé de publier ses découvertes. Wheler essaya cependant de conserver l'interprétation cosmologique du planétarium électrique :

> Les phénomènes du feu et de nos effluves électriques comportent maintes affinités ; et […] nombreux sont les phénomènes célestes qui peuvent être expliqués avec beaucoup de simplicité sur la base de ces suppositions.

Ces démonstrations de Wheler, qui constituaient une volte-face par rapport à ses déclarations antérieures, furent publiées dans les *Philosophical Transactions* ; un exemplaire de la revue fut envoyé à Dufay[52].

Au mois d'avril 1738, le dispositif de Wheler fut à nouveau expédié à Crane Court et le savant quitta le Kent pour toujours. Dès les années 1740, les expérimentations sur des victimes secouées par des électrochocs, faisant jaillir des étincelles ou virevolter des feuilles de métal, mises en scène par des experts tels que l'abbé français Jean Antoine Nollet, se répandirent aux quatre coins de l'Europe. En 1744, le planétarium électrique était clairement présenté dans les *Elements of Natural Philosophy,* l'importante version anglaise du manuel du physicien de Leyde Pieter van Musschenbroek ; quant au commentaire sur la fiabilité du planétarium, qui faisait désormais référence, il était présenté dans le résumé, assez peu original, des phénomènes électriques publié la même année par le vieil astronome allemand et membre de la Royal Society Johann Doppelmayr[53].

Wheler lui-même resta en contact avec ses collègues de Londres ; il demanda qu'on lui rédige des témoignages fiables sur les découvertes électriques et acheta les ouvrages les plus à la pointe en matière de philosophie naturelle – notamment les livres de l'abbé Nollet, Benjamin Franklin et Joseph Priestley. À partir de l'élégante résidence du Leicestershire appartenant à l'un de ses proches, il étudia la trajectoire de la grande comète qui apparut dans les cieux anglais au cours de l'hiver 1744. Mais sa proposition d'associer flux électriques et trajectoires des planètes et des comètes, par le biais des orbites régulières et quasi interminables d'un petit bout de liège autour d'une boule d'ivoire, tomba dans l'oubli[54].

Ordre du travail, caprices de la main

« Quelque surprenants que soient tous les phénomènes de l'électricité dont nous avons rendu compte jusqu'à présent, on peut dire qu'ils ne sont rien en comparaison de [ces derniers][55] », affirmait Dufay dans une présentation de l'histoire du planétarium électrique, qu'il présenta tout d'abord à l'Académie royale des sciences à la fin de l'année 1737 et qui fut ensuite considérablement révisée, avant d'être publiée à titre posthume. Par cette formule, l'académicien français voulait opposer la surprise initiale ressentie face aux découvertes sur l'électricité et son propre travail sur le planétarium, lequel obéissait selon lui au principe de la force répulsive exercée par deux tourbillons électriques de même nature. Dufay estimait que le planétarium était un dispositif qui était conforme « aux lois de la physique les plus simples et les plus générales[56] », à savoir l'équilibre des forces entre tourbillon électrique et gravitation. Il considéra, avec la même assurance, qu'il

fallait scrupuleusement contrôler les « mouvements involontaires ». Il raconte :

> J'avais tenté de tenir le fil avec une pince de métal pour éviter tout soupçon involontaire dans la main ou dans le bras, et parce que j'avais reconnu depuis longtemps que dans la plupart des experiences les métaux produisaient les mêmes effets que les corps animés.

Utilisant des stratégies comparables à celles adoptées par son éminent disciple, l'abbé Nollet, Dufay mit tout en œuvre pour, sinon éliminer, du moins contrôler les mouvements de son corps. Lissa Roberts a remarqué la disparition des témoignages sensoriels directs et le rôle nouveau joué par la balance de précision dans les mémoires français de chimie publiés par la suite, au cours du XVIII^{e} siècle. Dufay avait besoin d'une balance expérimentale fiable pour remplacer ou oblitérer la célèbre main de Gray. En mai 1736, il en avait décrit une : il s'agissait d'une aiguille de fil de fer équilibrée contre une barre de fer, suspendue à des fils de soie, qu'il utilisa pour repérer les tourbillons électriques et mesurer leur force. Une année plus tard, il modifia ce dispositif pour explorer le gâteau de résine. Sur la boule d'ivoire située au centre du gâteau, il disposa un petit bâton perpendiculaire de neuf à dix pouces de long, au sommet duquel il attacha

> avec de la cire d'Espagne un rubis creux et poli dont la partie concave était en dessus ; j'avais ensuite préparé une espèce de petit fléau de balance d'un fil de laiton très délié, qui était traversé d'une aiguille fine qui lui servait de pivot vertical, et dont la pointe très aiguë portait sur la partie concave du

> rubis ; ce pivot n'avait, comme on le voit, que très peu de frottement, et la plus petite force était capable de faire tourner le fléau d'un côté ou d'autre. Le fil qui soutenait la boule de liège était attaché à l'un des bras de ce fléau, et comme il n'y tenait que par une simple boule, on pouvait l'approcher du pivot, ou l'en éloigner autant qu'on le voulait[57].

Ce dispositif devint, entre les mains de Dufay, un moyen de déterminer l'équilibre entre « la force centripète et la force gravitationnelle ». Mobilisant sa compréhension du comportement de différents types de cotons et de soies, il régula alors les mouvements de la boule de liège pour mettre en valeur le fonctionnement des tourbillons. Guère étonné par l'aveu de Wheler selon lequel « l'intention et l'envie » étaient « la cause secrète qui a déterminé le corps suspendu à tourner[58] », Dufay transforma quant à lui le planétarium en un modèle contrôlé et ordonné de la physique des tourbillons. Il insista notamment sur le fait que la conduite de ce débat dans le monde des savants devait être caractérisée par un contrôle rigoureux. En particulier, la décision finale prise par Wheler, concernant les errements ou les « caprices » de sa main, pouvait être réconciliée avec cette exigence morale :

> J'ai cru devoir à M. Wheler la justice de rendre public son témoignage à cet égard, qui lui fait d'autant plus d'honneur qu'il avait été jusqu'à présent confirmé dans l'opinion contraire par des expériences très séduisantes, et par la confiance qu'il avait en celles qui lui avaient été communiquées par M. Gray[59].

Fontenelle s'inspira de cette thématique et loua publiquement « la franchise et la générosité très rares parmi les savants » qui caractérisaient ces échanges[60].

L'explication par Dufay du contrôle qu'il appliquait aux mouvements de son corps, son refus d'adhérer à l'« illusion corporelle », ainsi que sa probité morale, convenaient parfaitement avec ses autres fonctions officielles, notamment sa mission d'intendant du Jardin du roi, qu'il remplissait avec efficacité, ou ses travaux d'administrateur des teintureries à la manufacture des Gobelins. Il convient de rappeler ici la remarque d'Otto Sibum selon laquelle James Joule effectua ses expérimentations au moment précis où les pratiques traditionnelles en vigueur dans le secteur de la brasserie étaient soumises à des changements profonds et se pliaient à un nouveau système de discipline et d'encadrement. Dans « la conscience de l'artisan mêlée à celle du spécialiste aristocratique », il fallait « une culture de l'expert(ise) qui n'avait pas encore vu le jour ». De manière comparable, l'expertise requise par les nouveaux projets de Dufay dans le domaine de la teinturerie montrait que le contrôle de la scène expérimentale reposait sur un contrôle des « mains capricieuses ».

En France, le secteur de la teinturerie établissait depuis longtemps un distinguo entre les grands teinturiers, qui étaient habilités à utiliser des colorants rapides comme la guède ou la garance, et les teinturiers de moindre importance, qui étaient strictement restreints à des colorants meilleur marché et fugitifs. Des administrateurs testaient les textiles teints pour vérifier si ces derniers avaient été traités avec des colorants rapides ou fugitifs, en les faisant bouillir dans de l'alun ou du savon, tests dans lesquels un savoir-faire artisanal précis jouait un rôle fondamental. Lorsque Colbert nationalisa les Gobelins en 1667, il promulgua des

règlements très stricts pour renforcer la hiérarchie de cet établissement. Dans une société d'ordres, au sein de laquelle la couleur et la propreté des textiles étaient un enjeu public, la réglementation du secteur de la teinturerie, dominé par un nombre assez restreint de maîtres teinturiers, devint une affaire d'État. En 1727, alors que le commerce du textile était en proie à de profondes mutations pendant la Régence, Réaumur, le mécène de Dufay, qui jouissait d'une grande influence, publia un mémoire mettant en exergue le rôle que les académiciens des sciences pourraient jouer pour soutenir les réglementations commerciales mises en place par l'État. Instigateur des « Descriptions des arts et métiers, faites ou approuvées par Messieurs de l'Académie royale des sciences », Réaumur pointait du doigt l'utilisation de la chimie par les teinturiers. L'entreprise consistant à imposer l'usage de la raison scientifique à l'art de l'artisan était décrite par le menu. Dufay ne tarda pas à participer à cette enquête sur l'art et la technique de la coloration. Au lieu d'effectuer des récits anecdotiques, les administrateurs commencèrent à spécifier des recettes fiables qui, si elles étaient dûment respectées, permettraient d'obtenir des effets garantis[61].

Au début de l'année 1731, Dufay fut recruté par le contrôleur général des Finances pour mettre au point de nouvelles manières permettant de superviser les tests sur les teintures. Le rôle du contrôleur général consistait, entre autres, à imposer des mesures normatives dans le cadre d'une administration absolutiste et, en particulier, de réglementer les systèmes métrologiques, tributaires des caprices des pratiques corporelles. Alors qu'il lançait avec l'abbé Nollet ses expérimentations privées sur la transmission de l'électricité, ainsi que sur le lien entre celle-ci et la couleur, et qu'il participait à la création d'étalons de mesure pour la géodésie

française, Dufay inaugurait aussi un vaste programme visant à mettre au point de nouveaux standards pour les tests pratiqués sur les colorants. Les émoluments de Dufay s'élevaient pour cette fonction à 6 000 livres au minimum – fonction à laquelle Nollet avait de sérieux espoirs de succéder à Dufay. Encadrant une équipe de tisserands et de teinturiers, Dufay utilisa une solution alcoolisée qui, selon lui, pouvait avoir les mêmes effets que les essais effectués sur des tissus exposés à des périodes d'ensoleillement fixes[62].

> Jusqu'à présent, l'art de la teinture a été laissé exclusivement aux artisans qui en font leur profession, et effectivement, il semble qu'il n'y ait jamais eu personne pour connaître l'ensemble de cet art, parce que des raisons de police, qui ont coïncidé avec des raisons de commodité pour les ouvriers, ont voulu que cet art soit séparé en différentes classes.

L'objectif de la métrologie minutieuse de Dufay consistait à remplacer la culture artisanale par un ensemble de principes et de standards, soutenu par une doctrine de la fixation de la couleur semblable à sa théorie sur les tourbillons électriques, et disséminé, sous le patronage de l'État, dans tout le secteur de la teinturerie. Selon Jean Hellot, son successeur, « il collecta toutes les drogues qui, d'après lui, pouvaient être utilisées dans la teinturerie et il les testa sans aucune considération pour les préjugés des teinturiers ». En 1737, la formation des apprentis, aux Gobelins, fut réorganisée dans le cadre d'un régime strict de contrôle des emplois du temps qui mettait fin aux méthodes artisanales traditionnelles ayant cours dans les guildes d'artisans. La même année, au moment précisément où Dufay commençait à reproduire les effets du planétarium électrique, ses solutions alcoolisées et ses régimes de tests furent

imposés par décret, suite aux instructions du contrôleur général. En 1737 également, Dufay indiquait à l'Académie royale des sciences que sa stratégie s'opposait directement à celle des « artisans qui n'ont aucun intérêt à faire avancer les choses et qui considèrent toute chose ne conduisant pas à leur usage particulier comme une pure perte de temps ». Selon Dufay, il était grand temps que le secret entourant les pratiques artisanales cède le pas à un contrôle de ces pratiques par l'État et que les artisans se soumettent aux règles de l'art[63].

Il convient de comparer la métrologie mise en place par Dufay à l'« auto-examen » pratiqué par Wheler. Le Français et l'Anglais cherchèrent tous deux à prendre leurs distances à l'égard du travail manuel mais ils s'efforcèrent d'acquérir les techniques et les compétences nécessaires pour produire un savoir fiable. Le gentilhomme du Kent considérait que le planétarium était une représentation de l'univers créé par le grand architecte. Il affirmait que l'ordonnancement de cet univers dépendait des gestes de son bras, de ses doigts et de son torse. Wheler adopta une attitude éminemment morale et montra que l'expérience du planétarium dépendait des caprices de sa main ; il préserva ainsi l'honneur de la communauté scientifique. Dans les codes de la civilité aristocratique de l'époque, le contrôle de soi jouait un rôle prépondérant ; on savait pertinemment que les mains pouvaient être des facteurs de désordre, de dérèglement. Au début du XVIII^{e} siècle, les pamphlétaires condamnaient les faits et gestes des sectaires radicaux, en associant « les mouvements de leur chef, leur doigt levé, leur main tremblante » à « leurs grossières contradictions, leurs innombrables mensonges, leurs hypothèses transformées en autant de prédictions, et leur manière d'être déréglée ». L'absence de contrôle de soi, sur le plan financier ou corporel, l'assujettissement à

des maîtres, la dépendance à l'égard du ventre déréglé ou du cerveau surchauffé, rendaient ces personnes incompétentes par essence. Wheler avait trouvé le moyen de dissocier sa propre personne des gestes effectués par son corps, et ce sans ternir sa réputation. Il avait également réussi à préserver la probité de Gray, dont la « main de septuagénaire » tremblotante expliquait les errements du planétarium électrique. En comparaison, Dufay considéra, comme les savants de son époque, qu'une discipline rationnelle pouvait servir de guide à des techniques corporelles[64]. Se « distanciant » des gestes de sa main et de son corps, il semblait ainsi exclure la seule prise en compte de l'humain dans la production d'un fait irréfutable.

Les philosophes naturels qui étudiaient l'électricité mirent au point des techniques sociales pour savoir qui était habilité à donner une explication des mouvements corporels, lorsque ces derniers devenaient l'objet d'expériences électriques. Ils mirent également au point des technologies matérielles mettant plus à contribution des *hands*, du personnel subalterne. Les fabricants d'instruments concevaient des globes en verre rotatifs que des assistants faisaient fonctionner ; des maîtres démonstrateurs se trouvaient là, qui encadraient la scène expérimentale. Tout cela eut des effets sur la représentation publique du travail des « électriciens ». Comme l'a remarqué Steven Pumfrey, un Parisien qui au milieu du XVIII^e^ siècle rendait hommage à Francis Hauksbee, louait « l'extraordinaire savoir-faire [de l'expérimentateur] dans les opérations manuelles » mais affirmait – à tort – que ce dernier n'avait jamais commercialisé ses appareils électriques, « ce qui aurait consisté à céder le contrôle [de ses machines] à des ignorants ». Propriété des expériences et propriété des machines allaient étroitement de pair. Pour électrifier des globes en verre rotatifs, l'abbé Nollet continuait à préférer

l'utilisation de sa main, au lieu d'un bout de cuir ; quant à William Watson, il estimait qu'un gentleman expérimentateur « pouvait également faire frotter les globes par les mains de [ses] assistants ». Les dialogues populaires de Benjamin Martin sur l'expérimentation électrique envisageaient, de même, la possibilité qu'un jeune aristocrate puisse « faire appel à [son] serviteur, afin que ce dernier exécute » ces expérimentations spectaculaires. Dans le domaine de l'électricité, le « tour de main » était progressivement transmis à des subordonnés, dans le cadre d'un contrôle hiérarchique strict [65].

Dans son histoire des gestes, Robert Muchembled observe que les historiens ont plus souvent accès à des événements exceptionnels et sujets à caution, qu'à des faits normaux et triviaux. À des périodes de « friction sociale » (pour reprendre sa propre expression), lorsque les normes sont contestées et remises en question, les gestes mettent alors en lumière le fondement supposé du comportement. Comme l'ont montré les études historiques sur la controverse scientifique, les gestes autorisés, reconnus, habilités, semblent marqués au coin de l'évidence. Dans les études de cas contemporaines, comme celles de David Sudnow sur le piano de jazz, ou celles de Hugh Kenner sur le clavier de la machine à écrire, la main qui fait l'objet de l'expérimentation participe de cette évidence. Mais les expériences sur le planétarium électrique s'inscrivent dans des « moments de friction », dans la mesure où elles mettent aux prises des façons radicalement différentes de manipuler l'appareil scientifique et d'interpréter son fonctionnement. Comme Steven Shapin l'a mis en lumière dans le cadre de ses travaux sur la distinction entre travail aristocratique et travail manuel, ces moments de friction avaient déjà eu des antécédents. Les gestes marquant le clivage entre l'autorité des philosophes naturels, d'une part, et les « mains expérimentales » des artisans, de l'autre, étaient des conventions sur

lesquelles Wheler et ses collègues pouvaient occasionnellement s'appuyer.

Ces moments de friction ont aussi existé après les essais pratiqués sur le planétarium électrique. Un siècle après la mort du dispositif expérimenté en Angleterre et en France, de nombreux ouvriers électriques londoniens exposaient leurs machines, ainsi que leurs appareils artisanaux, et faisaient montre de leurs techniques manuelles devant des foules ébahies. Iwan Morus a montré que des philosophes naturels tels que Michael Faraday ont, au contraire, cherché à établir plutôt une ligne de démarcation entre leurs appareils et leurs gestes, d'une part, et ce qu'ils croyaient être les véritables lois sous-jacentes de l'action électrique, de l'autre. Dans le domaine de la science électrique, ces distinctions entre l'autorité des philosophes naturels et le savoir-faire des artisans continuaient à prévaloir[66].

Lorsque Sibum et ses collègues ont reconstitué les expérimentations de Faraday, Joule ou d'autres scientifiques, ils se sont penchés sur le savoir corporel et sur les évolutions des techniques gestuelles. Si, au lieu de répéter les expériences pour montrer leur fiabilité, les historiens reproduisent ces dernières pour explorer les formes de savoir impliquées dans ces expérimentations, alors les frontières traditionnelles entre épistémologie et pratique sont remises en cause. Sibum affirme qu'il convient de contextualiser le savoir gestuel et d'identifier les prémisses du travail expérimental. Ce n'est pas seulement que les traces textuelles d'expériences passées se révèlent être des guides pratiques inachevés – c'est ce que nous a déjà appris la sociologie de l'expérimentation. C'est, bien plutôt, que la reproduction des expériences montre que des formes apparemment abstruses de savoir gestuel ont participé à la réalisation de ces expérimentations.

Le programme de Sibum détaille ces formes de savoir gestuel et indique les ressources qui étaient déjà disponibles dans la culture qui a permis l'émergence de ce type de savoir. La reproduction des expériences par les historiens ressemble ainsi beaucoup plus à une tentative de diagnostic qu'à un essai déductif ; elle se rapproche de ce que l'on a appelé les « sciences subalternes » de la culture artisanale. Cette proximité est importante car, comme ce chapitre sur l'électricité, l'aristocratie, la teinture et le corps a tenté de le montrer, il existe des liens très importants au plan historique entre les savoirs gestuels impliqués dans le travail expérimental et l'histoire des techniques artisanales[67].

CHAPITRE 5

Mesurer la vertu : eudiométrie, Lumières et médecine pneumatique

> À l'homme la contemplation des cieux est permise, mais la pratique de la vertu est exigée […] Il y a dix ans à peu près, mes observations quotidiennes des changements du ciel m'amenèrent à considérer si, dans l'hypothèse où j'aurais le pouvoir de régler les saisons, je pourrais répandre plus d'abondance sur la Terre. Mon esprit s'attacha si fort à cette pensée que jour et nuit j'exerçais ma domination imaginaire sur cette contrée, en y distribuant à propos les fécondes rosées, les pluies et les rayons du soleil. Je n'avais encore que la volonté de faire le bien, et je n'imaginais pas d'en avoir jamais le pouvoir.
>
> Samuel Johnson, *The History of Rasselas*, 1759, chap. 42

La pneumatique, science des Lumières

Récit d'une expérimentation pneumatique digne de Swift dans les bains publics de Milan. En février 1780, Pietro Verri, philosophe, journaliste et éditeur du journal *Il caffé*, célèbre organe des Lumières lombardes, écrivait à son frère à Rome :

> L'été dernier, nos deux physico-chimistes, Moscati et Landriani, se trouvaient aux bains. Il vint à leur esprit de collecter une flatulence (*flatus*) qui s'élevait au-dessus de l'eau dans une grande et mince bulle. Ils l'analysèrent ; ils trouvèrent qu'elle était inflammable ; ils s'écrièrent : Découverte ! découverte ! Maintenant tout le monde sait que de telles émanations viennent de lieux où l'on trouve de la fermentation. Il fut alors discuté dans quelle mesure on pouvait fabriquer avec cette substance une lampe économique. Et pourquoi pas éclairer une ville la nuit [1] ?

Dans le monde des Lumières tardives, et en particulier dans l'Italie des Habsbourg, les recherches autour d'une économie de l'air attirèrent fréquemment l'attention du public. Durant les années 1770, à la suite des traductions italiennes des expériences pneumatiques de Joseph Priestley, une nouvelle technologie fut développée pour mesurer la qualité (*bontà*) de l'air et ainsi fournir une base quantitative à la gestion de l'environnement médical. Cette technologie était communément dénommée l'« eudiométrie », terme forgé en 1775 par le professeur de physique milanais Marsilio Landriani [2]. Ce dernier transforma en effet un test rapporté par Priestley en un instrument à la fois précis, portable et, affirmait-il, révolutionnaire. Dans ce chapitre, je vais suivre l'émergence et le destin de cette technologie, et tenter de la situer dans le contexte des ambitions médicales et gestionnaires des médecins et des savants de la fin des Lumières. Je chercherai notamment à mettre en rapport les différentes interprétations des usages thérapeutiques de l'eudiométrie et les lignes forces de la réforme politique, examinant aussi bien la dissidence rationnelle d'un Priestley, l'illuminisme italien que le constitutionnalisme des disciples de Bentham.

Le travail de Priestley sur les gaz débuta peu après son départ de l'Académie de Warrington lorsqu'il devint ministre de la chapelle de Mill Hill à Leeds en 1767. Cet événement faisait suite à une série d'alliances conclues entre Priestley, des médecins et des réformistes. En 1764, Priestley reçut en effet un diplôme de théologie de l'université d'Édimbourg sur la recommandation du médecin de Manchester Thomas Percival. En 1766, sur la recommandation du leader réformiste et médecin Sir John Pringle, Priestley fut élu à la Royal Society. En 1772, à la suite de présentations de ses expériences sur l'imprégnation de l'eau avec de l'air fixé au College of Physicians, Priestley écrivit un long article sur la chimie pneumatique qui lui valut de remporter la médaille Copley à la Royal Society l'année suivante. Les publications de Priestley en chimie, en philosophie naturelle et en théologie politique allaient rapidement attirer sur lui une attention accrue de la part de lecteurs comme Jeremy Bentham, alors jeune avocat à Oxford, et que les travaux du philosophe dissident frappèrent avec la force d'une révélation. En 1773, Priestley déménagea de Leeds pour Bowood et Londres où il travailla en tant que bibliothécaire pour le compte du leader whig réformiste Lord Shelburne[3].

Ce réseau social donna à la chimie pneumatique sa coloration réformiste. En retour, cette nouvelle chimie fournissait un savoir dont les réformateurs pouvaient se saisir, ainsi qu'une description de leur fonction sociale, et un ensemble de stratégies par lesquelles la réforme pouvait être facilement mise en œuvre. Ce savoir s'appuyait sur la compréhension de la matière et de ses pouvoirs alors étudiés dans les laboratoires. Une telle recherche engendrait une nouvelle pratique politique et de nouvelles règles pour une meilleure gestion de l'économie sociale et du corps humain. L'atmosphère fut conçue comme un facteur essentiel pour comprendre la production des

principes de santé et de maladie. Sous les auspices de Priestley, cette pratique servit aussi à réviser l'image du corps. En modifiant la définition des attributs de la matière, c'est la distinction entre esprit et corps qui s'effaçait. Si l'esprit était devenu accessible à l'analyse matérielle, il devenait aussi intelligible pour l'administration. Ainsi, les autorités médicales, utilisant leur connaissance de la météorologie médicale, pouvaient aussi se penser comme des autorités morales, utilisant leur connaissance des pouvoirs de l'esprit. Lorsque l'administration médicale se pencha sur la discipline des esprits, elle proposa une nouvelle manière de saisir comment les intérêts et les passions devaient être gouvernés dans la perspective d'un bien-être social. La science des pneumatiques devait donc nécessairement s'accompagner d'un nouveau récit de l'essor de la pneumatologie[4].

Cette science devint alors une composante essentielle de la philosophie des Lumières tardives. Le lien de Priestley avec des juristes tels que Bentham, ou avec des médecins comme Pringle, éclaire bien la manière dont cela fonctionnait. Bentham et Priestley devinrent tous deux clients de Shelburne, et les écrits de Bentham des années 1770 et 1780 sont des témoignages éloquents de cette proximité avec le mouvement des « dissidents rationalistes » (*Rational Dissent*) de Priestley. Les pneumatiques de Priestley et le système du panoptique de Bentham représentaient deux versions d'un même modèle liant le corps et l'esprit. Le *Panopticon* de Bentham, dispositif visionnaire pour l'architecture et l'administration des fabriques, des prisons et des écoles, pour la première fois élaboré dans les années 1780, constituait un exercice dans l'économie des pouvoirs, une « machine merveilleuse » permettant de déployer les effets du pouvoir sur la scène du laboratoire : « Elle pourrait servir comme machine à réaliser des

expérimentations sur l'homme. » Bentham envisageait explicitement l'idée que le *Panopticon* pouvait produire « des machines à la ressemblance des hommes ». Il devint dès lors une machine expérimentale pour les expérimentations sur les machines. « Oh chimistes ! s'exclamait Bentham, vos creusets nous ont montré beaucoup de matière morte, mais notre fabrique est un creuset pour les hommes ! » Si le *Panopticon* se présentait comme un exercice d'anatomie politique et de mécanique des pouvoirs, la technologie des gaz de Priestley proposait un répertoire similaire de stratégies pour explorer les arcanes du pouvoir sous le régime de l'observation, de la classification et de l'expérimentation. Ses expériences pneumatiques interrogeaient les pouvoirs sur lesquels reposait la vie même, et modelaient une économie dans laquelle ces pouvoirs étaient distribués[5].

La préface du célèbre livre de Bentham *Fragment on Government* (1776) donne des preuves de son utilisation des pneumatiques de Priestley compris comme un signe du progrès. En 1767, dans son *History of Electricity*, Priestley affirmait que l'histoire de la philosophie naturelle était le meilleur moyen de saisir les intérêts humains à travers les processus d'associations et pour la cause du progrès : aucune histoire « ne peut donner à voir des exemples aussi remarquables d'une amélioration des choses que le progrès de l'esprit humain dans les spéculations philosophiques[6] ». Les principes de l'associationnisme de David Hartley marchent à plein ici : dans les histoires de l'électricité, de l'optique et des pneumatiques écrites par Priestley, le lecteur bienveillant pouvait se remémorer l'état des progrès introduits par les expérimentations les plus récentes. C'était assurément une manière de montrer ce qui péchait chez les autorités établies. Dans le cas de Bentham, on retrouve ainsi un raisonnement parallèle à propos du juriste

conservateur William Blackstone. Bentham se représentait l'avocat d'Oxford comme un ennemi du progrès parce qu'il s'opposait résolument aux véritables principes tirés de l'histoire de la philosophie naturelle. Pour lui : « Aux notions de découverte et d'amélioration dans le monde naturel correspond la réforme dans la sphère morale. » Blackstone s'opposait à une telle réforme. Pour autant, les succès des chimistes pneumatiques pouvaient et devaient être étendus au royaume des mœurs :

> S'il est important et utile pour nous de connaître les principes de l'élément que nous respirons, il n'est sûrement pas moins important, ni pas moins utile, de comprendre les principes, et de s'efforcer d'améliorer les lois qui seules nous permettent de respirer en toute sécurité[7].

L'axiome de l'utilité, l'analogie entre amélioration de la nature et réforme morale, enfin l'objectif d'une respiration « saine » constituent divers aspects du programme météorologique poursuivi à la fois par Bentham et Priestley. Dans les années 1770, Priestley et ses collègues cherchèrent à montrer comment une économie volontariste des gaz fonctionnait, et à décrire le processus qui gouverne cette économie. Les êtres humains faisaient partie intégrante de ce système, et leur bien-être apparaissait comme la conséquence de son action[8].

L'étude par la philosophie naturelle des pouvoirs atmosphériques se devait d'être liée à la politique civile. John Pringle est un praticien emblématique de ce domaine. Ses traités parus dans les années 1750 sur les hôpitaux et sur les fièvres se fondaient sur les principes pneumatiques des airs corrompus et purifiés. Comme Christopher Lawrence l'a suggéré, Pringle et ses collègues

réformistes, Priestley inclus, furent au cœur de la construction d'une interprétation spécifiquement pneumatique des épidémies de fièvre, situant leur étiologie dans les composants toxiques de l'atmosphère, et donc les rendant détectables par la chimie pneumatique[9]. Priestley défendit la doctrine de Pringle contre les critiques écossaises en 1773, tandis que les volumes successifs des *Experiments and Observations on Air* publiés au cours des années 1770 comportaient des témoignages de médecins sur les usages médicaux des airs et sur les fièvres causées par l'air. Lorsque Pringle décerna à Priestley la médaille Copley de la Royal Society en 1773, il replaça les pneumatiques de Priestley dans cette étude des fièvres par l'air, et les mit également en rapport avec le modèle de l'économie de bienfaisance que Priestley avait commencé à cartographier :

> Grâce à ces découvertes, nous sommes certains que chaque plante individuellement est au service de l'humanité, si ce n'est par quelque vertu particulière, du moins en étant un élément de cet ensemble qui nettoie et purifie notre atmosphère.

Les orages et les tempêtes agitent « les eaux et l'air ensemble pour enterrer au plus profond ces effluves putrides et pestilentiels que les végétaux sur la face de la Terre sont insuffisants à consumer[10] ». Le système pneumatique proposé par Priestley et Pringle rendait compte de la circulation d'un pouvoir vertueux dans le monde. Il eut de profondes influences sur les travaux des radicaux des années 1790, en particulier sur les médecins formés à Édimbourg comme Erasmus Darwin et Thomas Beddoes. Beddoes déclara par exemple qu'à travers la médecine pneumatique « l'homme pourra un jour contrôler les causes de souffrance et de

plaisir avec […] une domination absolue ». L'entreprise offrait l'image d'une économie parfaitement réglée de la société humaine, où l'administration médicale, l'hygiène publique et « l'enterrement des effluves pestilentiels » étaient d'égale importance[11].

Le test de l'air nitreux et la chimie phlogistique

L'isolement par Priestley de l'air nitreux en 1772 et de l'air déphlogistiqué en 1775 faisait partie de cette stratégie de diagnostic et de traitement. Il décrivit une série de processus qui viciaient l'air commun en le phlogistiquant. De tels processus comprenaient « l'extraordinaire consommation de l'air par les feux de toutes sortes, volcans, etc. », ainsi que la respiration et la putréfaction. La respiration et la putréfaction reçurent une signification en tant que termes médicaux grâce à la pneumatique phlogistique. L'air trouvé au-dessus des résidus de chaux ou résultant de la respiration animale se révéla être hautement phlogistiqué par comparaison avec l'air nitreux.

> Il n'y a pas que l'air nitreux qui permette de tester si l'air est propre à la respiration. Tout autre processus par lequel l'air est diminué et rendu nocif répond au même but, mais son utilisation n'est pas aussi facile ni élégante, et l'effet n'est pas aussi rapidement perçu. En réalité, c'est le phlogiston qui permet le test.

Le mauvais air ne permettait ni la respiration ni la combustion, et ne diminuait pas en volume lorsqu'on le mélangeait à l'air nitreux. Cela donnait au test une place centrale dans son système pneumatique[12].

Pringle insista sur ce point dans son discours de remise de la médaille Copley, et par Priestley lui-même dans son exposé devant la Royal Society. Ce faisant, Priestley et Pringle retraçaient soigneusement la généalogie de l'air nitreux jusqu'à son couronnement héroïque dans les travaux sur les pneumatiques de deux générations de chimistes britanniques. La tradition impliquait une technologie et une doctrine. La technologie était centrée sur le bac pneumatique. Dans son essai *Vegetable Staticks* (1727), Stephen Hales rendit compte d'expériences d'extraction d'« air » à partir de diverses substances, végétales, animales et minérales. Il utilisa la « force du feu », par exemple en mélangeant les pyrites de Walton (notre fer sulfuré) avec l'esprit de nitre (l'acide nitrique). L'appareil à pied de Hales lui permit de collecter l'air dégagé par l'eau et d'estimer son volume. Pour Hales, un seul type d'air existe, et il n'a qu'une propriété essentielle, l'élasticité. Le niveau de l'eau permettait de mesurer son élasticité. Mais quand il découvrit que les niveaux de l'eau se modifiaient avec le temps, il attribua ce phénomène à une perte d'élasticité, sentit la nécessité de laver l'air dégagé avant de le collecter, et de là développa un bac pneumatique[13].

Il fallut attendre le milieu du siècle et les recherches de Joseph Black à Édimbourg et celles des médecins des bains thermaux comme William Brownrigg pour faire de ce procédé un moyen de collecter *différents* types d'air, qu'il s'agisse de ceux qui furent fixés dans la matière et étaient de ce fait utiles pour les thérapies, pour l'analyse des minéraux et des eaux thermales ou encore pour le

combat contre la septicémie. Dans cette version, il était un outil essentiel aux expériences pneumatiques de Priestley[14]. Ses premières expériences utilisaient le bac pour collecter les « airs » et tester leur conductivité électrique et leur élasticité[15]. Au printemps 1772, Priestley se rendit à Londres pour rencontrer Henry Cavendish qui avait isolé l'« air inflammable » (notre gaz hydrogène) six ans plus tôt. Ils discutèrent des expériences de Hales, notamment celle de la production d'air nitreux à partir de pyrites et d'acide nitrique. Hales remarqua que la réaction produisait une grande quantité de fumées rouges qui se condensaient ensuite en quelque chose de moins volumineux que l'état original. Cavendish fit la suggestion déterminante que l'air était une substance spécifique fixée dans l'esprit de nitre seulement, et que n'importe quel type de pyrites pourrait le libérer. En juin, Priestley utilisa son bac pour collecter des échantillons incolores d'air nitreux, et détermina promptement que cet air absorberait et diminuerait le volume de l'air commun lorsque ce dernier se mélangerait à lui.

Cette expérience fut à la base du test de l'air nitreux. Dans la forme originelle de son expérience, Priestley mélangeait un volume d'air nitreux pour deux volumes d'air commun. À la fin de l'effervescence, les deux volumes diminuaient d'à peu près 1/9^{e} ; après deux jours passés au-dessus de l'eau, environ 1,8 volume de gaz restait. Cela devint la norme de réussite. Priestley découvrit bientôt que « l'effervescence ou la diminution […] sont au moins presque, si ce n'est exactement, dans les proportions des conditions » de la respiration, et que

> le degré de diminution allant de zéro à plus d'un quart de toute la quantité d'air, nous sommes, par ce moyen, en possession d'une prodigieuse échelle, par laquelle nous

> pouvons distinguer de petits degrés de différence dans la qualité de l'air.

Ce test était ambigu au moins à deux égards. D'abord, Priestley interprétait immédiatement la respirabilité en termes de *qualité*. Une échelle d'absorption de l'air nitreux devenait de ce fait une échelle de *vertus*. Ensuite, le volume résiduel était difficile à fixer. Il diminuait au lieu de se maintenir, et variait selon qu'il s'agissait d'eau ou de mercure. Priestley travailla beaucoup pour conforter son expérience, et chercha de l'aide auprès de Cavendish afin d'obtenir un volume final stable[16].

Quand Priestley publia ses résultats à l'automne 1772, il mit l'accent sur le fait qu'une mesure de la vertu était maintenant disponible et qu'elle fournissait des valeurs fixes et solides. Les techniques traditionnelles, comme celles qui utilisaient des souris, pouvaient être enfin écartées ; surtout, la chimie pneumatique devenait désormais potentiellement une technologie quantitative qui pourrait permettre d'évaluer la qualité de l'air environnant. La « vertu » tirait sa signification d'une cosmologie que Priestley faisait dériver des définitions reçues de l'humanisme civique. Elle représentait une qualité morale opposée à la « corruption ». Sa signification sociale et sa signification pneumatique étaient étroitement associées[17]. Priestley affirmait que cette économie aérienne devait agir pour préserver la vertu des airs. Il devait y avoir des processus qui recyclent l'air vicié et le rendent vertueux et respirable :

> Voici un nouvel objet important de l'enquête philosophique : identifier quel changement s'opère dans la constitution de l'air par la flamme, et découvrir quelle disposition existe dans

> la nature pour remédier au dommage que l'atmosphère subit de ce fait.

Des preuves de ces procédés de restauration furent produites dans la longue série d'expériences pneumatiques que Priestley fit à Bowood entre 1774 et 1779 en utilisant le « noble appareil » que Shelburne lui avait fourni. Ces procédés incluaient la purification atmosphérique par la dispersion d'eau et par l'action bénéfique des plantes vertes sur l'air sous l'influence de la lumière. Le fait qu'il réussisse à isoler de l'air déphlogistiqué et à produire des preuves de la restauration de l'air par la vie végétale s'intégrait aisément au programme d'une économie bien conduite où s'équilibraient viciation et restauration[18].

Ces recherches étaient étroitement liées à l'idée d'un bien-être humain obtenu grâce au programme d'une météorologie médicale, c'est-à-dire que la restauration d'un air respirable et ses variations de qualité gouvernaient le destin physiologique de l'environnement humain et social. La qualité de l'atmosphère était un marqueur de sa conformité pour l'existence humaine. La respirabilité équivalait à la déphlogistication, la déphlogistication à la santé, la santé à la vertu[19]. C'est ainsi que John Pringle interpréta immédiatement les comptes rendus de 1772 :

> Une fiole d'air ayant été envoyée depuis le quartier d'une grande ville, il apparut, après une expérimentation comparative, inférieur en qualité à celui prélevé près de Leeds, où Priestley résidait. Au sujet de ce projet d'obtenir un critère pour distinguer le bon air du mauvais, Lord Bacon s'exclama : « Ce sont de nobles expérimentations qui peuvent produire cette découverte ; car elles servent à une prédiction

> naturelle des saisons ! » et encore : « Elles apprennent aux hommes à choisir leur habitation pour une meilleure santé[20] ».

La moralité de cette échelle des vertus suggérait initialement à Priestley que si l'air atmosphérique était sans aucun doute un assemblage de différents éléments vertueux, il devait être aussi le meilleur air possible pour la respiration humaine : « Je n'avais pas l'idée d'obtenir un air plus pur que le meilleur air commun. » Pourtant, ses travaux de 1774 et de 1775 produisirent un tel air, l'air déphlogistiqué. C'est seulement après dix-huit mois que Priestley réussit à situer son nouvel air « luxueux » comme le niveau suprême sur son échelle des vertus et, par conséquent, à en faire une parfaite marchandise. Entre l'été 1774 et le printemps 1775, avant et après son voyage décisif à Paris à l'automne, Priestley travailla à l'extraction d'un air à partir du mercure chauffé *calcinatus per se*. Une série de tests, particulièrement le test de l'air nitreux, convainquirent finalement Priestley que son nouvel air vertueux diminuait plus qu'aucun autre au cours de l'expérimentation. Sa guerre contre les chimistes français se déclara donc comme une conséquence de la technologie qui incarnait sa cosmologie phlogistique[21].

La réponse de Lavoisier à l'expérience et aux affirmations de Priestley qui en découlaient montre bien quel système théorique donnait sens à l'expérience. Elle ne faisait sens d'ailleurs que pour les expérimentateurs qui croyaient en la réalité du « phlogiston » et dans la mesure de la vertu comme détermination du caractère de l'air. La transmission d'une compétence par cette expérience était le vecteur de la transmission du langage théorique de Priestley et de sa cosmologie phlogistique.

Durant l'hiver 1773-1774, et pendant une grande partie de l'année suivante, Lavoisier trouva le test de l'air nitreux très utile. Des détails de ce test furent communiqués à Paris par un collègue de Priestley à Londres, Jean Magellan. Le test fournissait un moyen de séparer l'air respirable de l'air non respirable, un point fondamental pour la théorie émergente du Français sur les fonctions de la respiration. À la fin du mois de février 1775, Lavoisier s'intéressa à cette diminution qui apparaissait au cours de l'expérience. Sa position à ce moment-là était que l'air nitreux était combiné avec du phlogiston. Lorsque l'air était mélangé avec de l'air commun, le phlogiston quittait l'air nitreux et se combinait avec l'air commun. L'air nitreux déphlogistiqué devenait de l'acide nitrique à l'état liquide. L'air commun déphlogistiqué devenait de l'air fixé. C'était ce qu'il restait à la fin de la réaction. Tout cela était de la bonne doctrine priestleyenne. Lavoisier le notait d'ailleurs : « Tout cela donne raison au système de Priestley[22]. » Un mois après ce mémoire, à la fin du mois de mars 1775, Lavoisier tenta le test de l'air nitreux à partir d'un air extrait de la chaux du mercure, à la manière dont Priestley l'avait fait l'été précédent, et comme il l'avait raconté à Lavoisier à l'automne de la même année[23]. Quoi qu'il en fût de la source, Lavoisier pensait que le test de l'air nitreux serait déterminant. Même si le nouvel air supportait la combustion beaucoup mieux que l'air commun, Lavoisier trouva que la réduction de l'air par l'air nitreux était la même que celle de l'air commun (soit 1/5^{e}), et qu'il était par conséquent aussi bon que l'air commun. Quand il rendit compte de ses expérimentations à l'Académie de Paris en avril 1775, Lavoisier annonça pour cette raison qu'il s'agissait là « non seulement de l'air commun », mais « de l'air en entier ». Bien que plus respirable, il était simplement équivalent en qualité à l'air commun dans l'expérience cruciale.

Durant l'année suivante, Lavoisier chercha à améliorer sa maîtrise des techniques développées par Priestley. Avant la première moitié du mois de mars 1775, Priestley avait déjà annoncé « l'air déphlogistiqué » à la Royal Society. Les nouvelles parvinrent à Paris en décembre. Les expérimentations de Lavoisier au printemps 1776 et un mémoire datant d'avril mentionnent encore que « l'air produit est l'air déphlogistiqué de Priestley », et réussissent finalement à montrer que sa diminution au cours de l'expérimentation était plus grande que celle de l'air commun.

C'est seulement à partir d'une série d'expérimentations sur la synthèse de l'air atmosphérique au printemps 1776, menées dans son nouveau laboratoire de l'Arsenal, que Lavoisier commença à s'écarter de la technologie qu'il avait eu tant de mal à apprendre. Lavoisier continua à utiliser la terminologie de Priestley, en particulier celle de « viciation », même dans sa théorie de la respiration. Jusqu'en 1777 au moins, Lavoisier écrivit et réécrivit une série de mémoires visant à montrer que, dans la respiration, l'air déphlogistiqué est fixé dans le sang. Ce point devint le dogme principal de sa théorie chimique, mais il nécessitait quelque reconstruction sensible des améliorations de la technologie du test de l'air nitreux pour la phlogistication. Ainsi, le test de Priestley renvoyait à une série d'instruments élaborés par ses alliés en Grande-Bretagne et en Italie. L'« eudiométrie », comme cette technologie allait être appelée, était à la fois une aide et un élément fondamental du destin de la chimie phlogistique. Lavoisier avait besoin d'apprendre et de comprendre cette technologie pour construire une nouvelle théorie de l'air, de la respiration et donc de la vie[24].

Pour utiliser le test de l'air nitreux comme instrument de la météorologie médicale, il fallait s'engager dans un récit plus

complexe du cosmos et de l'ordre social. Priestley planifia une collecte d'airs de différents sites. En 1779, il demanda à son ami et mécène, le manufacturier Matthew Boulton, de « l'air respiré dans les différentes manufactures du royaume », collecté dans divers ateliers des Midlands. Il recueillit en outre des échantillons d'air tel qu'on en trouvait dans les salles de la maison de Shelburne après des réunions. Des ampoules d'air furent envoyées à travers le royaume ; le test commença à englober le monde social. Au début des années 1780, Priestley collabora avec le journaliste agronome Arthur Young pour mener une enquête générale sur les caractéristiques eudiométriques des eaux dans différentes régions agricoles. Ils conclurent que les eaux phlogistiquées favorisaient la production de la récolte et cherchèrent à convaincre la Commission de l'agriculture de leur théorie pneumatique. Pour les réformistes de la politique et de l'économie pendant la période critique de la « dissidence radicale », le calcul prudent et l'étude des marchés furent des outils cruciaux. Les alliés potentiels furent aussi les consommateurs. Les médecins achetèrent les machines électriques de Priestley (l'une d'elles fut vendue à l'infirmerie de Leeds, par exemple) ; les manufacturiers comme Boulton et Wedgwood l'aidèrent à mettre sur le marché de nouvelles verreries et des produits chimiques. À partir de 1777, les eudiomètres furent en vente dans une fabrique à la mode dans le West End à Londres. Le développement d'un marché pour les instruments pneumatiques aida à diffuser la doctrine pneumatique et donna une signification au vocabulaire utilitariste. Par exemple, le nouvel air pur de Priestley pouvait être « étrangement salutaire pour les poumons dans certains cas mortels », et « l'air pur déphlogistiqué pouvait être utile comme remède », même s'il était trop puissant dans certains cas : « Un

moraliste pourrait affirmer que l'air que la nature nous a donné est l'air que nous méritons[25]. »

Ce mélange d'utilité, de technologie et de pneumatique gagna des soutiens. Magellan dit à Priestley que le test de l'air nitreux, « la découverte heureuse que vous avez faite pour le bénéfice de l'humanité, et peut-être de presque tous les animaux de cette Terre », fut d'une importance « infiniment supérieure à celle de nombreuses nouveautés futiles qui si souvent se diffusent avec une prodigieuse rapidité jusqu'aux provinces les plus reculées de cette Terre ». Pareillement, Bentham commença son travail sur l'eudiométrie quand il contacta Priestley en 1774 et 1775. Il dit à Priestley que,

> en utilisant l'air nitreux comme test pour comparer la pureté de l'atmosphère dans différents lieux, il est important de savoir avec certitude que cet air n'a jamais été mêlé auparavant à l'air commun.

Utiliser ce test en ce sens, c'était déclarer allégeance aux principes de la pneumatique. Tout au long des années 1770, Bentham fut soucieux de développer ce programme : son « Athanor » fut une contribution à celui-ci, anticipant les « eudiomètres » fabriqués par Cavendish et le philosophe de la nature toscan Felice Fontana dans les années 1780. Il parla à Fontana de publications sur l'amélioration de la qualité des airs et sur les meilleurs moyens de fabriquer de l'air artificiel. Il fut aussi impliqué dans les disputes de Priestley avec des chimistes comme Scheele qui refusaient d'admettre que la végétation puisse purifier l'air[26]. Comme le cas de Bentham le suggère, l'engagement pour l'eudiométrie impliquait souvent à la fois le sens de la filiation et

celui de la dispute. C'est avec leurs collègues italiens que Priestley et Bentham eurent à débattre le plus vigoureusement pour établir la possibilité d'une nouvelle météorologie médicale. Ces travaux menés dans le contexte de la culture italienne éclairée donnèrent à l'« eudiométrie » sa nouvelle signification politique.

L'eudiométrie et le despotisme éclairé

Les protagonistes des campagnes eudiométriques furent trois officiels des régimes habsbourgeois en Autriche et en Italie qui plus tard devinrent des sympathisants de la réforme radicale. Il s'agit de Marsilio Landriani, engagé pour occuper la chaire de physique au Gymnasium Brera à Milan en 1776 grâce à l'influence du secrétaire de Joseph II pour les affaires italiennes. Le deuxième est Felice Fontana, médecin de la cour de Léopold I^{er} à Florence et, à partir de 1771, directeur du Musée grand-ducal de physique et d'histoire naturelle. Enfin, le dernier est Jan Ingenhousz, diplômé de Louvain et de Leyde, encouragé par Pringle pour conduire les campagnes d'inoculation en Grande-Bretagne et en Autriche, et, à partir de 1768, médecin de cour auprès de Marie-Thérèse. Tous étaient d'habiles publicistes, engagés dans la météorologie médicale et la chimie pneumatique de Priestley. Tous les trois étaient en outre des *philosophes* distingués, des lecteurs studieux des publications françaises anticléricales et réformistes.

Fontana était clairement associé aux programmes médicaux et anticuriaux de Léopold I^{er} et fit les frais d'une purge par les anti-jacobins en 1799 avant de faire un bref retour en grâce comme président de l'Académie napoléonienne de Florence en 1801[27]. Landriani était un contributeur au journal *Il caffè*, fondateur de la

Société patriotique milanaise en 1778, et proche collègue du professeur de chirurgie de l'Ospedale Maggiore Pietro Moscati, qui devint plus tard un chef de la République cisalpine durant l'occupation française en 1796-1797[28]. Ingenhousz était un intime de Priestley, de Pringle et de Benjamin Franklin, qu'il rencontra à Londres en 1766. Il devint plus tard un client de Shelburne, résidant à Bowood durant les deux dernières décennies de sa vie, d'où il mena campagne pour la physique réformiste et contre ce qu'il percevait comme les erreurs des nouvelles histoires de la vaccination diffusées par Edward Jenner et ses amis[29]. Ces éléments suggèrent que certains intérêts dans la réforme et le contrôle social se manifestèrent dans leurs travaux eudiométriques. Chacun expose un modèle représentatif de thèmes de recherche : l'électricité franklinienne, incluant les arguments sur les paratonnerres ; le travail à propos de l'influence de la lumière sur la croissance végétale ; l'intérêt pour la santé publique, particulièrement pour les fièvres et les épidémies ; l'hostilité à la chimie de Lavoisier. Ce travail allait être caractérisé par un mélange de marketing, de doctrine pneumatique complexe et de propagande énergique[30].

Landriani commença ses enquêtes de médecine pneumatique en collaboration avec Moscati à l'hôpital de Milan en 1772. Le vocabulaire du travail italien sur la médecine environnementale puisait dans la recherche de Bernardino Ramazzini à Modène durant les années 1690 et dans celle de Giovanni Lancisi à Rome en 1717. Le laxisme des principes de l'environnementalisme donnait licence aux travaux milanais des années 1770. Les ressources tirées des premiers travaux s'appuyaient sur une forte admiration pour la philosophie expérimentale britannique, et faisaient de Priestley un héritier de Robert Boyle et de Stephen Hales. Elles incluaient aussi une foi dans l'accumulation de données quantitatives

météorologiques et une attention à ce qui semblait être à l'évidence des lieux méphitiques comme les marais, les égouts ou les cimetières[31]. De telles visions furent par exemple répandues par *Il caffè* en 1756 par un autre professeur de Brera, Giuseppe Parini. Plus important, peut-être, était le lien de causalité que Ramazzini et Lancisi cherchaient à établir. Comment l'air pouvait-il être source à la fois de maladie et de soin ? L'environnementalisme, dans la mesure où il supposait une pathologie issue de l'air, n'excluait pas la contagion, car les malades dégageaient également des vapeurs pathogènes. La principale ressource de ce vaste et riche ensemble de variables était la combinaison de mesures et de pneumatique. Une arme puissante semblait ainsi être désormais disponible pour permettre de gagner de l'autorité aussi bien à l'État qu'à la société civile.

Le mécénat étatique accompagnait la lutte contre ce que ces hommes percevaient comme étant l'ignorance de la plèbe et le préjudice causé par le cléricalisme[32]. Les écrits de Léopold I^er^ sur son accession au pouvoir en 1765 diagnostiquent ainsi les malaises de la société toscane : « les difficultés des marchands, les biens de l'Église, le nombre excessif de moines et de nonnes, les péages ». La cure proposée comprenait un mélange prudent de libre échange, d'agriculture planifiée et d'anticléricalisme[33]. Les émeutes contre les nouvelles réformes de l'Église s'étendirent à travers toute la Toscane et ailleurs dans les années 1780, à la suite des attaques des ecclésiastiques contre les objectifs de Joseph II dans son propre empire[34]. Au même moment, à Milan et en Toscane, une nouvelle classe d'administrateurs professionnels fut recrutée pour remplacer la domination des propriétaires terriens. Des hommes comme Landriani et Fontana exercèrent leur métier sous une « nouvelle discipline d'officiers ». La Société patriotique de Landriani, soutenue

par Joseph II et ses ministres, était la cible de la suspicion du clergé et des journalistes. Le grand réformateur du droit milanais, Cesare Beccaria, cofondateur d'*Il caffè*, écrivit à l'encyclopédiste André Morellet en 1766 que « les Milanais ne pardonnent pas à ceux qui souhaitent les faire vivre au XVIII^e^ siècle ». Le scepticisme de Pietro Verri à l'égard du régime despotique des Habsbourg aide à comprendre ses satires contre les pneumatiques de Landriani qui étaient liées à l'ascension au pouvoir du médecin de Milan. De même, l'hostilité cléricale à Léopold I^er^ était largement due, initialement, à une série de controverses qui inquiétèrent la chimie médicale de Fontana : une alliance des patriciens et de prêtres se mit en place contre sa philosophie naturelle dans les années 1780. À l'inverse, Léopold I^er^ reconnut l'excellente instruction prodiguée par Fontana à son fils François en physique alors qu'il cherchait à lui garantir la succession au trône impérial[35].

Ces intellectuels du service public avaient besoin de techniques de gestion qui les aideraient à soutenir cette discipline contre les critiques. Comme nous le verrons, un bon exemple de l'application de ces méthodes fut la désastreuse crise frumentaire qui toucha l'Italie centrale au mitan des années 1760. Le nouveau gouvernement réagit en dérégulant le commerce des grains (au lieu du protectionnisme traditionnel) et en remplaçant le contrôle des magistrats sur les ressources par la création d'un office statistique de supervision[36]. Le gouvernement habsbourgeois exigeait de ses officiers qu'ils respectent tout un ensemble de compétences quantitatives et environnementales. La gestion des airs aiderait la production des grains et la bonification des terres. Elle soutiendrait également la réforme des hôpitaux et de l'hygiène publique. Ce sont ces réformes qui plongèrent les nouveaux administrateurs dans un conflit direct avec les élites médicales établies. « En Toscane, note

un visiteur, les hôpitaux sont en apparence les palais des grands-ducs[37]. » La technologie devait être étendue également aux malades mentaux, en particulier après 1780 en association avec les propositions du philosophe des Lumières et médecin Vincenzo Chiarugi. Chiarugi adopta l'interprétation pneumatique et environnementale pour expliquer le dérangement mental, et proposa en conséquence de favoriser la ventilation et la respiration dans des lieux clefs pour appliquer son audacieuse thérapie, légalisée après une nouvelle loi sur les aliénés en janvier 1774[38]. Le lien entre les pneumatiques et la réforme économique devint explicite dans les années 1770, surtout dans les projets du gouvernement pour drainer les marais infestés de Maremme et pour y créer de nouvelles terres agricoles. Le combat contre le *mal aria* (le mauvais air) fut dirigé par un groupe réunissant des agriculteurs et des naturalistes de la capitale toscane, épaulés par les pouvoirs autoritaires de l'État[39]. Ainsi, bien avant que l'article de Priestley sur l'air nitreux ne soit traduit en italien à Milan en 1774, il semblait déjà plausible qu'une machine qui mesurait la respirabilité ait pu être un instrument pour la fabrication des données qui pourraient autoriser la cartographie et le contrôle de la santé publique et du corps social.

Landriani et Moscati commencèrent leurs travaux sur le test de l'air nitreux peu après avoir lu l'article de Priestley du printemps 1775, au moment du carnaval de la ville. Après quelques semaines passées à préparer des échantillons d'air et à concevoir une version portable de l'expérimentation, les deux savants firent le tour des sites milanais qui pouvaient, selon eux, représenter un danger public évident. Le terme d'« eudiométrie » fut ainsi forgé pour désigner cette technologie : littéralement, la mesure du bon air. Les résultats furent gratifiants pour les eudiométrologues et se présentaient comme des condamnations de l'ordre public milanais : « L'air de la

fosse du théâtre durant les derniers jours du carnaval a été analysé comme étant aussi infecté que celui d'une tombe. » De telles affirmations attirèrent des commentaires immédiats à Milan et ailleurs, y compris les quolibets des membres de la vieille classe gouvernante. Landriani décrivit cette fascination publique pour les pneumatiques. Ses collègues, quant à eux, s'intéressaient plutôt au fondement de ces jugements sur la vertu de l'air. Landriani répondit à ces interrogations par une glose théorique : le volume restant à la fin de la réaction était proportionnel à l'air fixé et au phlogiston contenus dans l'échantillon. Cette explication, à l'opposé de celle de Priestley, soulignait la capacité de l'eudiométrie à déterminer à la fois la santé des villes et celle des individus, puisque l'air était généralement tenu pour être à la fois phlogistiqué et fixé. Landriani se différenciait aussi de la méthode de Priestley en différents points, comme pour l'usage simultané du mercure et de l'eau ou pour le traitement successif de chaque volume d'air testé. C'était une technique visant à estimer la vertu d'un large spectre de substances combustibles telles que l'air situé au-dessus de l'huile, de la cire et dans des salles fermées [40].

Landriani fut aussi l'objet de critiques et de satires : satire par exemple de Pietro Verri, qui fustigeait son « charlatanisme chimique et littéraire » et l'affublait d'un « monsieur air fixé » ; quant aux critiques, il dut essuyer celle d'un jeune philosophe de la nature de Côme, Alessandro Volta. En juin 1775, Volta et Moscati reçurent une copie du traité envoyé par Fontana de Florence, qui décrivait un ensemble d'instruments comparables à ceux utilisés par Priestley. Volta allégua que Fontana essayait de couper l'herbe sous le pied du médecin de Milan. Landriani temporisa et publia ensuite un récit de son propre travail, dédié au ministre autrichien de Milan et appelant

solennellement à un usage de l'eudiométrie par l'État. Il prétendait que la nouvelle technologie

> était certainement plus utile et importante que toutes les observations météorologiques, car elle ne se limite pas à une curiosité sèche pour le changement du niveau d'un baromètre ou d'un thermomètre d'un jour à l'autre, mais indique bien plutôt la plus ou moins grande respirabilité de l'air, le vent, le fait qu'une saison soit plus ou moins saine, etc., questions qui sont de la plus grande importance et qui, si elles sont soigneusement étudiées, peuvent nous aider à nous prémunir contre les abus infinis, et par suite à prévoir et à prévenir les plus terribles épidémies[41].

Le livre de Landriani présentait l'eudiométrie comme une rupture dans l'histoire de la médecine environnementale. Mais cette rupture devait être prudemment gérée. Les eudiomètres prenaient place parmi une batterie de procédés de mesure météorologique que Moscati et Landriani avaient développés pour leurs expériences en Lombardie, en particulier celles conçues pour détecter l'électricité et l'élasticité atmosphérique. La carrière de Landriani dépendait de la réussite de ces techniques. Ainsi, lorsqu'il obtint du gouvernement le poste de Brera à l'été 1776, Pietro Verri s'exclama : « Vous voyez combien l'air fixé paie[42]. » Chaque nouvelle trouvaille expérimentale de la philosophie naturelle ultramontaine pouvait se résumer à ce but, comme cela devint clair lorsque Landriani travailla avec Volta sur l'appareil nommé « électrophore » et avec Franklin sur le paratonnerre. Il fut le premier à introduire un paratonnerre dans sa maison de Milan en 1781[43]. Landriani citait les autorités de la chimie (Hales, Priestley) pour conforter la doctrine sur laquelle

l'eudiométrie était fondée. Il devait en outre prouver que les déterminations eudiométriques s'accordaient avec les perceptions déjà existantes du caractère pathogène de certains lieux. Ainsi, pendant l'été 1776, il se lança dans la première de ses « tournées eudiométriques » qui le conduiraient finalement jusqu'en Grande-Bretagne. Le mois de novembre suivant, il fit le compte rendu de ses résultats à la fois aux Italiens et à Priestley[44]. Les tournées eudiométriques remplissaient au moins deux fonctions : elles démontraient la conformité entre les données eudiométriques et les théories les plus orthodoxes de la météorologie ; elles permettaient d'établir la propriété intellectuelle de Landriani sur la technologie contre Fontana, son plus important rival. Tandis qu'il gagnait la bataille terminologique (le terme d'« évaéromètre » proposé par Fontana ne prit pas), Landriani sortit de ses combats avec le Toscan dans un pauvre état. Dans le même temps, la Florence du grand-duc Léopold I^{er} apparaissait comme le régime le plus progressiste et comme un lieu idéal pour l'entreprise eudiométrique.

L'eudiométrie appliquée aux airs, aux eaux et aux lieux

Fontana occupait une place prépondérante dans l'État florentin. C'était une figure d'envergure européenne. Il était disciple à la fois de Haller, dont il avait étudié le travail sur l'irritabilité à Bologne et qui avait soutenu les publications de Fontana sur la physiologie en 1760, et de Hales, que Fontana lit dans les années 1760 dans la traduction française de Buffon. Fontana voyait l'eudiométrie comme une partie d'un programme général de réforme économique et

sociale pouvant être mise en œuvre et inspirée par le régime grand-ducal. Les éléments clefs de cette réforme se concentraient sur les problèmes endémiques de la famine et du sous-développement et sur les épidémies. Elle se présentait aussi comme un assaut contre les superstitions populaires et la mainmise du clergé et défendait le contrôle éclairé exercé par des naturalistes experts soutenus par l'État.

L'eudiométrie de Fontana correspondait à ces buts. Il avait déjà exploité ces ressources pendant l'épisode de famine et de fièvre épidémique de 1766, peu de temps après avoir rejoint la cour de Toscane. Comme Knoefel l'a montré, la cible de Fontana était Giovanni Targioni Tozzetti, médecin en chef à Florence, disciple de Ramazzini et principal propagateur de la médecine météorologique en Toscane. Tozzetti publia un texte sur le climat et la famine qui listait les autorités anciennes et modernes sur la famine et les épidémies, et annonçait l'identification de micro-organismes responsables de la rouille du blé qui infectait fréquemment les grains en Toscane. Fontana fit immédiatement du travail de Tozzetti un compte rendu violemment critique, condamnant par-dessus tout sa vénération des anciennes autorités et sa défense de ce qu'il prenait pour des miracles ou des superstitions populaires contre les modernes naturalistes iconoclastes. Fontana répliqua par ses propres travaux, publiés avec le soutien des philosophes milanais, et démontra que les remèdes populaires contre la rouille étaient stériles et superstitieux, tout en montrant comment combattre le fléau par une comparaison statistique et une analyse microscopique de différentes fermes. La satire fut efficace : une comparaison entre des moissons précoces de grains contaminés (le remède de Fontana) et celles traitées par des cornes de bœufs brûlées (remède attribué à Tozzetti) valut à Fontana le respect de la cour, et condamna Tozzetti

au ridicule, fût-ce temporairement. L'incorporation par Fontana des nouvelles théories pneumatiques et des statistiques gouvernementales lui acquit des soutiens influents chez les dirigeants des réformes de l'agriculture à l'Accademia dei Georgofili à Florence. Plus fondamentalement, Fontana planifia le travail sur la rouille comme un élément d'une stratégie plus générale de contrôle et d'enquête par les élites savantes :

> Il ne suffit pas de dire en général que telle ou telle pratique peut être utile ; nous devons déterminer quand et dans quelle mesure elle peut être valable. Afin d'accomplir cela, l'œil et la main d'un observateur averti seront nécessaires.

« Averti » signifiait désormais bon connaisseur de la chimie médicale éclairée[45]. Comme Landriani, Fontana fit rapidement siens les travaux de Priestley lorsqu'ils parvinrent en Italie. Au début de l'année 1775, il mit la dernière main à un article sur l'air fixé destiné à la Royal Society de Londres, dans lequel Priestley était à la fois loué pour ses compétences expérimentales et attaqué pour son affirmation que cet air était acide. Le papier ne fut pas publié dans les *Philosophical Transactions*, mais il fut largement diffusé dans les journaux français et italiens. Comme le furent les commentaires que Fontana ajouta à son article annonçant son invention d'un grand nombre de procédés fondés sur le test de l'air nitreux. Il prétendait enfin que de telles recherches seraient d'un grand intérêt pour les gouvernants et les souverains[46]. Ce fut ce commentaire, et l'importante *Descrizione e usi di alcuni stromenti per misurare la salubrità dell'aria* parue la même année, qui attirèrent l'attention de Landriani et d'autres savants sur le travail de Fontana. La *Descrizione* proposait huit eudiomètres, tous finement ouvragés et pour la

plupart clairement irréalisables. Peu de protocoles de fabrication furent fournis, et dans d'autres cas le silence de Fontana fut éloquent, notamment sur le problème de la fonction de l'eau, puisqu'il utilisait toujours le mercure pour mesurer le volume résiduel de l'air. Tout comme Landriani doutait, quant à lui, de la capacité de Fontana à construire ou même à pouvoir utiliser aucune de ses machines, Fontana était également sceptique quant aux procédés de Landriani. Quoi qu'il en soit, il est clair qu'à Milan comme à Florence un eudiomètre fut construit, et que les descriptions publiques de ces procédés furent publiées pour établir la priorité de l'inventeur et la valeur sociale de cette technologie, et non pour servir d'instructions aux autres eudiométriciens. Ainsi, par exemple, l'eudiomètre utilisé par Fontana apparut seulement dans un compte rendu de 1779 par Ingenhousz, qui esquissait et décrivait un procédé similaire aux tubes de Priestley. L'eudiométrie avait une iconographie qui satisfaisait les conventions du goût, mais qui maintenait également un problème de reproduction caractéristique de la philosophie expérimentale[47].

Fontana et Ingenhousz inventèrent une iconographie pour l'eudiométrie et développèrent en outre une technique pour représenter ses résultats. La technique dépendait de la cosmologie aérienne de Fontana. Il affirmait qu'il était possible de fixer assez facilement un degré minimum de salubrité de l'air, dans la mesure où ce degré serait indiqué par son incapacité à réagir avec l'air nitreux. L'air le plus sain était par conséquent plus difficile à représenter : Priestley avait présupposé que l'air commun était le meilleur pour la santé, et s'il pouvait être fixé, pensait Fontana, les épidémies pourraient être anticipées, et les différences entre les régions évaluées. La nature de l'échelle de Fontana dépendait également de sa technique particulière : contrairement à Priestley

qui ajoutait les volumes simultanément, la méthode appelée « fontaniste » impliquait l'addition de volumes en série afin de parvenir à un état final fixé. Surtout, Fontana développa la représentation eudiométrique seulement après les discussions qu'il eut avec Ingenhousz et ses collègues pendant la tournée eudiométrique de 1776 à 1779. Il quitta Florence pour Paris peu après la publication de sa *Descrizione* à l'automne 1775, distribuée par le gouvernement qui acheta les instruments pour le nouveau musée avec l'aide du jeune *illuministo* Giovanni Fabbroni. Il séjourna à Paris du début de l'année 1776 jusqu'à l'automne 1778 lorsqu'il partit pour Londres. Une des leçons décisives que Fontana retint, fut la supériorité des fabricants d'instruments britanniques sur les Français et les Italiens. Une autre fut l'énorme difficulté à reproduire les résultats eudiométriques. Enfin, il rencontra les controverses sur l'air et le phlogiston qui faisaient alors rage à Paris et en Grande-Bretagne.

L'intervention de Fontana dans ces débats, comme dans celui qui impliquait Lavoisier, exigeait l'autorité du test de l'air nitreux, et avait également besoin de soutiens établis. Il poursuivit ses plus célèbres travaux avec l'aide du pharmacien parisien Cadet de Vaux, qui avait été mandaté par la police pour enquêter sur le malodorant cimetière des Innocents. Les autorités françaises étaient, à l'évidence, au courant de la nouvelle technologie pneumatique, et l'équipe Fontana-Cadet montra rapidement à la Société royale de médecine que le cimetière était dangereux du point de vue eudiométrique[48]. La confirmation par l'eudiométrie du « méphitisme » de la capitale prit place dans un moment de doute idéologique. Les doctrines traditionnelles sur l'épidémiologie et l'économie étaient chaudement débattues en France dans les années 1770[49]. Des physiocrates tels que Turgot et les membres de la

nouvelle Société royale de Vicq d'Azyr étaient très actifs dans cette polémique : Fontana parla à Turgot, Vicq d'Azyr et Condorcet durant son séjour, et comprit mieux comment l'eudiométrie pouvait être intégrée dans un programme systématique de réforme médicale et sociale. Fontana fut actif à la fameuse réunion de la loge maçonnique des Neufs-Sœurs en 1778 pendant laquelle Voltaire fut enfin admis, cérémonie qui constitue un point culminant de l'autocélébration des Lumières[50]. Il y avait là des alliés potentiellement très stratégiques, mais la doctrine eudiométrique n'était pas universellement acceptée en France. Tandis que Lavoisier était sur le point de rompre avec la cosmologie phlogistique de Priestley, des médecins de province réagirent avec scepticisme à l'affirmation de Priestley selon laquelle la vie végétale purifiait l'air. Certains suggéraient qu'en entravant la circulation, les arbres élèveraient la pollution dans les zones méphitiques comme les cimetières[51]. Les journalistes parisiens ridiculisèrent le « méphitisme » et l'« eudiométrie » :

> La frivolité parisienne s'amuse beaucoup de voir des chimistes décanter l'air comme des montreurs de dés et utiliser leurs nerfs olfactifs pour consacrer ensuite leur énergie aux sièges d'aisance méphitisés des toilettes[52].

Le clergé contesta fortement les thèses mises en avant par l'eudiométrie fontaniste qui suggéraient de déplacer les cadavres des cimetières urbains. L'administration éclairée violentait les structures traditionnelles de la parenté et du sentiment collectif. Un abbé influent se plaignit en 1788 que, « si nous gagnons en pureté de l'atmosphère, il est à craindre que nous perdions beaucoup en ce qui concerne la moralité ». Il est significatif de noter que les mêmes

batailles survinrent au sujet des dispositions benthamiennes de l'Anatomy Act promulgué en Grande-Bretagne, un demi-siècle plus tard. La fermeture du cimetière comme la dissection obligatoire impliquaient toutes deux un appel à une autorité des pneumatiques et de la médecine, et une dépréciation de la pneumatologie traditionnelle[53].

Le milieu parisien conféra de nouvelles significations à l'eudiométrie. Dans un essai publié à son arrivée à Paris, Fontana fit appel aux expérimentations réalisées à Florence l'année précédente. Il admettait désormais, contrairement à ce qu'il affirmait en 1775, que l'air nitreux était un simple donneur de phlogiston et que la qualité de l'air pouvait être restaurée en le mélangeant à de l'eau. En septembre 1776, Fontana avait déjà réalisé une série d'expériences imitant celles de Priestley sur l'air déphlogistiqué. Les contacts qu'il avait créés à l'occasion de l'enquête sur le cimetière lui donnèrent accès au réseau des apothicaires parisiens qui fournissaient à Lavoisier la chaux de mercure et assistèrent aux célèbres expériences de l'été 1774 et du printemps 1775 dans lesquelles le test de l'air nitreux avait été utilisé pour tester l'air restant après la réduction du précipité[54]. Dans un effort pour se confronter à la chimie française, le Florentin démontra que, lorsque les métaux étaient calcinés, le gain de poids conséquent n'était pas dû à l'air fixé mais au remplacement du phlogiston des métaux par une substance qui devenait de l'air commun par la perte du contenu de son phlogiston naturel[55]. Les comptes rendus de ces expérimentations furent envoyés à l'Académie des sciences et ne furent pas publiés.

Au printemps 1777, Lavoisier lut à l'Académie un article sur la respiration, écrit à l'automne précédent, et complètement revu dans sa forme. Ce discours rejetait enfin, et définitivement, l'affirmation

de Priestley selon laquelle respiration et phlogistication étaient des processus équivalents. L'enjeu du combat était de montrer que les mesures de la phlogistication pouvaient toujours être prises comme mesures de la viciation et donc de l'insalubrité. En 1783, Lavoisier et Laplace utilisèrent les techniques eudiométriques fontanistes pour leur travail décisif sur la respiration animale : essentiellement, ce travail mena les Français à rejeter les affirmations de Fontana concernant la déphlogistication de l'air pendant la respiration[56]. Tandis que Priestley considérait les essais de Fontana comme des soutiens à sa doctrine, Fontana lui-même travaillait assidûment avec son nouveau collaborateur, Ingenhousz, sur l'eudiométrie à Paris. Cette collaboration et ses conséquences menèrent bientôt à une crise dramatique de l'eudiométrie italienne.

L'air inflammable et l'air nitreux : la transformation de l'eudiométrie

Fontana rencontra Ingenhousz pour la première fois à Florence en 1769 quand le médecin hollandais faisait partie de ceux qui vaccinaient les membres de la famille régnante, dont Léopold I^{er} lui-même. Élu membre de la Royal Society en 1771, et par conséquent considéré comme un médecin et un expérimentateur distingué dans les deux capitales, britannique et française, Ingenhousz fut une figure centrale de l'histoire de l'eudiométrie et plus généralement dans le développement de la chimie pneumatique, publiant une série d'articles importants dans les journaux et son grand livre, *Experiments upon Vegetables*, en 1779. En novembre 1775, alors qu'il

travaillait à la cour des Habsbourg de Vienne, il reçut une copie de la *Descrizione* de Fontana, et vit aussitôt les nombreux défauts de ses méthodes. Le problème sur lequel Ingenhousz se concentrait était de déterminer si « l'air nitreux avait délogé l'intégralité de l'air commun dans un volume donné, ou s'il délogeait toujours la même quantité d'air commun ». C'était un vrai problème, puisque la constance des volumes d'air nitreux ajoutés déterminait le résultat fixe des évaluations des échantillons d'air commun. Ingenhousz créa une bouteille en caoutchouc pour forcer l'air à se mélanger. En calibrant sa machine avec un manomètre de mercure, Ingenhousz cherchait à montrer que cette nouvelle technique était une amélioration de l'eudiométrie fontaniste. Son compte rendu fut envoyé à John Pringle à Londres et publié au printemps 1776[57].

Cet article d'Ingenhousz relança de nouvelles expérimentations avec Fontana à Paris en 1776 et 1777. Ils travaillèrent sur la manière de remplacer l'air nitreux par l'air inflammable de Cavendish. Le contexte polémique fut une attaque de Priestley par Scheele : ce dernier avait affirmé, contre le chimiste anglais, que l'air inflammable était non toxique et respirable, même s'il apparaissait comme mauvais lors du test de l'air nitreux. À la fois Bentham et Fontana défendirent Priestley contre le Suédois[58]. Fontana écarta les résultats de Scheele en expliquant que les poumons gardaient de l'air résiduel qui se mélangerait avec n'importe quel air inflammable inhalé, et en réaffirmant à nouveau la considérable autorité de son eudiomètre qui montrait les effets pathologiques de l'air inflammable. L'eudiométrie médicale s'articulait maintenant sur cette connexion entre diminution, respirabilité et vertu de l'air. Pour réaffirmer cette technique, Fontana proposa une nouvelle version de la machine, avec de l'eau et du mercure, et une nouvelle manière de représenter ses résultats.

L'article incluait en outre les comptes rendus spectaculaires des effets de l'inhalation d'air inflammable : Fontana souhaitait montrer que l'air pouvait être respiré en toute sécurité, mais que cela n'invalidait pas le test de l'air nitreux : « Je n'ai jamais ressenti une telle sensation même lorsque j'ai respiré de l'air déphlogistiqué[59]. » Cette expérience attira une attention publique considérable en raison d'un article très positif d'Ingenhousz dans les *Philosophical Transactions*, dans lequel l'eudiométrie fontaniste était adoubée, mais aussi en raison des performances spectaculaires de Pilâtre de Rozier et par ses conférences très populaires et très suivies sur la philosophie naturelle[60].

L'importance des problèmes au sein de la controverse sur l'air inflammable fut ainsi mise en lumière par Ingenhousz et Pilâtre. Peu après la sortie de son propre article sur l'air inflammable en 1779, Ingenhousz publia son livre consacré à l'effet de la lumière sur la vie végétale, incorporant son travail mené avec Fontana et les spécifications du dessin du nouvel eudiomètre conçu à Paris. D'un côté, Ingenhousz et Fontana rapportaient que la variation au cours des expériences eudiométriques était maintenant réduite à moins de 1/500^{e}, « dont la précision dans la recherche du degré de qualité de l'air respirable surpasse l'exactitude à juger du degré de chaleur et de froid par le thermomètre de Réaumur » – affirmation audacieuse. D'autre part, Ingenhousz témoignait d'une nouvelle méthode que Fontana avait développée pour la thérapie médicale : utilisant le fait que l'air fixé se dissolvait facilement dans l'eau de chaux, le Toscan avait conçu un respirateur dans lequel l'air exhalé passerait à travers l'eau de chaux afin de la priver de l'air fixé et de restaurer ses propriétés déphlogistiquées. Ingenhousz loua cette méthode de thérapie aérienne comme peu onéreuse et sécurisée[61]. Pilâtre, quant à lui, avait été formé comme pharmacien en 1776-

1777 et commença ses conférences spectaculaires sur la philosophie expérimentale dans son nouveau musée à Paris. Disciple de Lavoisier, il était profondément hostile à la technologie eudiométrique fondée sur l'affirmation que la constitution de l'air commun varie, et qu'il y a un lien entre phlogistique, respirabilité et santé. Lorsque Fontana affirma que l'air inflammable était respirable parce qu'il était mélangé avec l'air déphlogistiqué présent dans les poumons, Pilâtre essaya d'inhaler un mélange d'air inflammable et d'air déphlogistiqué ; selon le rapport qu'en fit plus tard Chaptal, il « en résulta une telle explosion qu'on a craint que ses dents ne soient emportées ». Cinq ans plus tard, en juin 1785, Pilâtre fut tué dans l'explosion d'un ballon à Boulogne, alors qu'il voyageait au sein d'une expédition pour laquelle il avait été recommandé par Lavoisier[62].

La réponse de Fontana à l'expérience héroïque de Pilâtre, et les tournées eudiométriques qui suivirent, témoignent de la crise dans laquelle se trouvait désormais l'eudiométrie. Dans de brefs extraits publiés à Paris issus d'un manuscrit beaucoup plus long envoyé au très influent duc de Chaulnes, Fontana défendait l'orthodoxie priestleyenne avec de nouvelles et importantes précisions. D'abord, il condamnait l'affirmation à la mode selon laquelle l'air contenait un principe vital compris comme un renouveau occultiste d'une ancienne superstition[63]. Ensuite, il soutenait la thèse que la respiration déphlogistiquait le sang. Enfin, il concédait qu'il y avait des différences entre les airs tels que l'air inflammable, l'air déphlogistiqué – air non respirable mais pas nocif – et l'air fixé – à la fois non respirable et nocif. Pourtant, ces airs apparaissent comme identiques dans le test de l'air nitreux. Le problème que cela impliquait pour l'eudiométrie n'était pas encore pleinement résolu. Plus encore, en cherchant à reproduire la mise en scène de Pilâtre à

Londres, Fontana fut sur le point de s'asphyxier en inhalant de l'air inflammable, et dut être ranimé par son compatriote Tiberius Cavallo[64].

Des problèmes identiques se firent jour dans les expériences sur l'eudiométrie à Paris et dans ses environs conduites par Ingenhousz et Fontana durant les années 1777 et 1778, et poursuivies par eux à Londres avec Cavallo, lorsque Fontana s'y rendit à la fin de l'année 1778. Les résultats de ces expériences furent envoyés par Fontana à Priestley au printemps 1779 et plus tard imprimés dans les *Philosophical Transactions*. Ces expériences incluaient une longue série sur l'eau commune, l'eau distillée, l'eau de la Seine et l'eau puisée dans une source à Arcueil. Chacune de ces eaux fut testée eudiométriquement pour étudier l'air qui y était emprisonné. Les résultats furent partiellement satisfaisants. L'eau de la Seine n'était pas aussi saine que l'eau de la source d'Arcueil, mais l'air emprisonné dans l'eau distillée s'avéra être le meilleur. Cela montrait, comme le souhaitaient les chimistes pneumatiques, que disperser de l'eau déphlogistiquait l'air – chose que Lavoisier et ses collaborateurs commençaient à remettre en cause. Fontana affirma que

> cela doit certainement être une des méthodes par lesquelles la nature garde l'atmosphère dans un état toujours propice à la vie animale, sachant que l'eau dans ces diverses circonstances doit perdre soit une partie soit la totalité de cet air qu'elle a absorbé dans l'atmosphère.

Cependant, de sérieuses réserves étaient désormais formulées concernant les fondements mêmes de l'eudiométrie médicale. Fontana exprima une série d'inquiétudes : certaines relevant de la

cosmologie à laquelle l'eudiométrie appartenait, d'autres renvoyant aux protocoles de ses collègues expérimentateurs. Ces derniers furent condamnés : aucun autre eudiomètre ne fonctionnait correctement ni ne donnait des résultats cohérents. Bien plus, les différences entre les airs des différents lieux comme Paris et le mont Valérien ou Londres et Islington étaient bien moindres que les différences notées entre les airs d'un même lieu à différentes heures :

> La Nature n'est pas aussi imparfaite qu'on le croit communément. Elle ne nous a pas seulement donné un air presque également bon partout et à toute heure, mais elle nous a permis un certain choix, ou la capacité de vivre et d'être en bonne santé dans différents types d'air.

Cela représentait l'abandon d'une des prémisses de l'eudiométrie. Fontana affirma que l'air ne portait pas de courant et de vapeurs qui étaient pathogènes : des vapeurs comme les « particules d'arsenic », ou les baumes végétaux aux vertus bienfaisantes. La vérité de l'environnementalisme demeura, mais l'eudiométrie médicale fut abandonnée : « Cet état de l'air ne peut être connu par le test de l'air nitreux. » Un jour viendrait, sans doute, où le test fonctionnerait, mais ce temps n'était pas encore arrivé :

> Cette curieuse recherche, ainsi que sa méthode, etc., sont les produits du XVIII^e^ siècle, et nos descendants devront montrer quelque gratitude à l'égard des philosophes qui l'ont découverte, comme envers ceux qui l'ont améliorée. Si nos ancêtres l'avaient connue et nous l'avaient transmise, nous serions peut-être à présent capables de juger d'un des plus

> grands changements de notre globe, d'un changement qui intéresse grandement la vie humaine[65].

La réponse à la position emphatique de Fontana fut ambivalente. Ingenhousz avait déjà signalé son impact dans son article sur l'air inflammable, dans lequel la préservation de la médecine aérienne avait été également soulignée. Quel que soit le destin de l'eudiométrie, notait-il, le soutien de l'air déphlogistiqué continuerait à servir la physique. Durant l'automne 1779, Ingenhousz commanda à Benjamin Martin, un des meilleurs fabricants de Londres, un nouvel appareil eudiométrique portatif, et l'emporta à bord du bateau lors de leur voyage eudiométrique entre Londres et Ostende. Le voyage suscita une lettre à Pringle, publiée à Londres au printemps 1780. Ingenhousz utilisait les déterminations eudiométriques pour soutenir une large série d'hypothèses médicales : l'air de la mer serait meilleur et les phtisiques devraient prendre des vacances au bord de l'eau ; les expériences menées près de sa résidence à Carlton House montrèrent que les arbres amélioraient la qualité de l'air, que la chaleur et l'air estival n'étaient pas sains ; finalement, il y avait, contrairement à ce qu'affirmait Fontana, de véritables variations entre les lieux, ce qui permettait d'affirmer que les îles comme Malte ou les péninsules comme Gibraltar étaient remarquablement saines. La preuve de ces affirmations était anecdotique autant que technique : une fois encore, la meilleure façon de propager l'eudiométrie était de mettre en évidence sa correspondance avec les croyances populaires. Un excellent exemple fut donné au début du mois de décembre 1779 lorsque Ingenhousz se trouvait à La Haye. Sa conviction était qu'en mélangeant un volume d'air de La Haye et un volume d'air nitreux,

on obtiendrait 1,17 mesure. Ce résultat devait être comparé au 0,94 mesuré sur la plage d'Ostende.

> Comme je n'avais jamais trouvé d'air commun aussi mauvais, je craignais que mon eudiomètre ne marchât plus, ou que quelque chose n'allait pas avec l'air nitreux. Je fabriquai alors à nouveau de l'air nitreux, et répétai l'expérience plusieurs fois, mais le résultat fut quasi identique. Pendant ce temps, je fis une rencontre imprévue. Le père de la maîtresse de maison avait été informé par la servante que j'entreprenais des recherches extraordinaires qu'il ne pouvait pas concevoir, et vint voir ce que je faisais. Il avait à peine passé une minute en ma compagnie qu'il commença à ressentir un fort asthme. Il m'expliqua sa maladie, sachant que j'étais médecin, et me dit, *qu'il avait passé ici deux jours très incommodants, trouvant l'air si lourd qu'il avait peine à respirer* ; cet épisode me convainquit que l'air était réellement d'une qualité inférieure[66].

Ingenhousz travailla beaucoup et continua pendant le reste de sa carrière à tenter d'établir la relation causale entre la détermination eudiométrique et le raisonnement médical. Il utilisa la même stratégie dans ses polémiques sur l'inoculation et contre la vaccination. Il rallia l'éminent médecin William Heberden à sa cause en évaluant l'effet eudiométrique des arbres. Il encouragea Martin à fabriquer des eudiomètres télescopiques et portables. Mais d'autres savants furent moins résolus. Avec les travaux de Priestley, Cavendish et Volta, on voit la dispersion, si ce n'est la disparition, de la recherche eudiométrique.

L'autorité de l'eudiométrie dépendait d'une série plausible mais faible d'inférences soutenues par la cosmologie phlogistique et le vocabulaire environnementaliste. Les chimistes pneumatiques commencèrent alors à séparer les moyens par lesquels le contenu en phlogiston pouvait être estimé en déduction directe de la *vertu* de l'air. Magellan concéda que l'eudiométrie ne révélait pas « toutes les mauvaises qualités de l'atmosphère, seulement sa phlogistication ». Volta avait été un des premiers à défendre cette distinction. En août 1775, il écrivit à son ami Landriani que l'eudiométrie n'était pas un moyen approprié pour évaluer la salubrité de l'air, même si elle mesurait sa respirabilité :

> Imaginez que vous l'utilisiez pour analyser l'air dans quelque espace fermé, dans lequel quelqu'un est en train de dormir ou plusieurs lampes ont été brûlées, et que vous compariez alors avec l'air de la nuit dehors : sans doute l'eudiomètre décidera en faveur de ce dernier. Cependant, qui ne sait que le risque de contracter une maladie est beaucoup plus grand en dormant dehors que dans une chambre fermée où l'air est corrompu par la respiration et les lampes ? Je suis persuadé que malgré tout le respect et l'admiration que j'ai pour votre eudiomètre, cher Marsiglio, je ne serais pas tenté de dormir les fenêtres ouvertes ; et, bien plus, que je serais assez audacieux pour dormir non seulement dans un air confiné, mais dans l'air suffocant de la fosse de votre théâtre de Milan, même si l'air de ce lieu avait été jugé aussi mauvais par votre eudiomètre que celui d'une tombe[67] !

Pendant l'année 1776, Volta prolongea sa réflexion à partir d'un examen minutieux des comptes rendus établis par Ingenhousz,

Fontana et Priestley sur l'air inflammable. Avant 1777, à la suite du développement d'un pistolet mis à feu par l'explosion de l'air inflammable avec de l'air déphlogistiqué, Volta proposa l'eudiomètre à air inflammable. En juillet 1777, il affirma à Landriani que l'explosion de n'importe quel air avec de l'air inflammable permettrait de mesurer sa phlogistication, puisque pendant le processus l'air inflammable phlogistiquerait l'air testé. Il baptisa « combustion sombre » le test conventionnel et nitreux, et nomma sa nouvelle méthode explosive, qu'il prétendait plus précise, « effervescence lumineuse ». À partir de l'année 1777 jusqu'à la fin de 1779, dans sa correspondance principalement avec Priestley et avec Senebier, Volta proposa d'autres techniques artisanales explosives et affirma qu'avec cette eudiométrie précise une technologie existait désormais pour l'étude de la combustion, le problème clef, selon lui, de la chimie pneumatique[68].

La concentration de Volta sur la combustion et la phlogistication fut interprétée comme un défi à la pneumatique médicale, en particulier par Ingenhousz et Fontana. Les expérimentateurs britanniques étaient plus confiants. Volta devint le bénéficiaire déclaré du patronage des Habsbourg, remportant la chaire de physique à l'université de Pavie en 1778 et négociant avec l'État les fonds importants nécessaires à son laboratoire, son cabinet et sa bibliothèque. Il était connu de Priestley et d'Ingenhousz comme disciple de la théorie de la matière boscovichienne et comme l'inventeur, à l'été 1775, d'un spectaculaire « électrophore », un appareil pour conduire l'électricité qui obsédait les électriciens franklinistes et anti-franklinistes depuis la fin des années 1770[69]. Priestley publia l'article de Volta sur l'air inflammable en appendice à ses *Experiments and Observations* en 1777. En 1779 et en 1780, Priestley fut préoccupé par son combat avec Ingenhousz sur le

caractère végétal de la matière verte qu'il produisait dans ses expériences sur l'influence de la lumière, et sa correspondance avec les Italiens comme Volta, Landriani et Fabbroni portait la marque de ces demandes de soutien. Le test de l'air nitreux était important ici parce que c'était avec ce test que Priestley montrait que l'air émis depuis la matière verte était bon, en tout cas aussi bon que l'air déphlogistiqué. Lorsqu'il lut dans le livre d'Ingenhousz que Fontana prétendait maintenant que les tests eudiométriques ne pouvaient discriminer les différents types d'airs, il fut furieux, considérant ce test comme un aspect du débat sur la photosynthèse et la matière vitale. En mars 1780, il écrivit au secrétaire de Shelburne, Benjamin Vaughan :

> J'ai été occupé par des expériences et, parmi d'autres choses, je me suis convaincu que c'est sans aucune raison que l'abbé Fontana (selon le D^{r} Ingenhousz) prétend que la mesure du bon et du mauvais air nitreux en arrive au même résultat avec sa méthode d'application du test. Je suis étonné, et préoccupé, de voir avec quel manque de soin ces personnes ont réalisé leurs expériences et avec quelle assurance elles les publient[70].

La critique fut amplifiée dans une communication détaillée donnée à la Royal Society par Cavendish en 1783, rendant compte des expériences réalisées en 1781. Cavendish soulignait que la détermination de l'eudiomètre serait plus précise si une manière pouvait être trouvée pour faire bouillonner l'air testé dans l'air nitreux plutôt qu'en le rajoutant d'un seul coup. Fontana avait essayé d'éviter le bouillonnement dans sa méthode. Depuis que, selon Priestley et Cavendish, le phlogiston absorbait l'air

déphlogistiqué continûment, le bouillonnement était nécessaire pour corriger cet aspect. Cavendish indiqua des protocoles très détaillés pour sa nouvelle machine : l'air nitreux devait être préparé uniquement à partir de cuivre ; des mesures en poids et non en volume devaient être employées ; l'air nitreux devait toujours être présent en excès. L'air commun et l'air déphlogistiqué seraient utilisés comme points fixes de l'échelle eudiométrique. L'air commun était par convention pris comme échelon 1, l'air phlogistiqué comme échelon 0, donnant une lecture de 4,8 pour l'air déphlogistiqué. La conséquence de ces nouveaux desseins fut que la machine n'était plus un eudiomètre à la manière dont les « fontaniens » le comprenaient. Il ne pouvait pas détecter réellement l'air phlogistiqué, mais était maintenant utilisé pour déterminer le type d'air en question, et non son degré de phlogistication. La composition de n'importe quel air était uniforme, de sorte que la structure de l'air devenait une question de chimie quantitative. « Notre sens de l'odorat peut, dans de nombreux cas, percevoir des variations infiniment plus petites dans la pureté de l'air que ce que permet le test nitreux », concluait Cavendish[71].

L'article de Cavendish s'accompagna d'une controverse violente entre Magellan, ancien allié et correspondant de Priestley, et Cavallo, représentant des « fontaniens ». Ce combat se concentra sur la bonne façon de conduire les essais eudiométriques, mais touchait aussi à tous les problèmes sociaux et intellectuels qui entouraient les pneumatiques. Il y eut des allégations selon lesquelles le président conservateur de la Royal Society, Joseph Banks, était hostile à Priestley et à Magellan et aidait ainsi la campagne médicale de Cavallo. Cavallo et Magellan furent remarqués comme inventeurs de machines pneumatiques et rivalisaient pour le contrôle du marché. Cavallo affirma qu'une « administration régulière » de tels

instruments était un élément clef pour la réussite de leur utilisation par les médecins[72]. L'abandon de l'eudiomètre par Priestley et Cavendish, et leur acceptation de la méthodologie de Volta concernant l'étude de la combustion, furent manifestes durant la controverse de l'eau avec Lavoisier en 1783 et 1784. Les Britanniques commencèrent à utiliser l'eudiométrie explosive pour démontrer que l'eau élémentaire perdait son phlogiston. Thomas Day, membre de la Lunar Society, mit en évidence en 1784 que l'eudiomètre ne pouvait pas être un moyen fiable de contrôler les airs pollués, qu'il s'agisse de la médecine ou de l'agriculture[73].

La division entre les enjeux thérapeutiques et la philosophie naturelle expérimentale correspondait à la division entre le nez expert du médecin et la précision instrumentale du savant. Cette coupure fut décisive, et la plupart des environnementalistes abandonnèrent complètement la technologie avant la fin des années 1780. Le travail du naturaliste suisse Jean Senebier est caractéristique. Il attaqua le test de l'air nitreux dans sa propre recherche sur l'échange entre air vital et air fixé dans la respiration des plantes[74]. Les projets de médecine environnementale ne dépendirent plus de la vérité de l'eudiométrie, mais les significations attachées aux termes tels que « vertu » ou « bonté » dérivaient explicitement de ce vocabulaire. Des publics différents devinrent les consommateurs de ces différentes techniques pour quantifier la vertu et la santé. L'importance de ces publics pour les différentes sortes d'eudiométrie fut mise en scène de façon comique dans la réponse florentine apportée à la controverse sur l'eau. En 1784, Fontana lut les comptes rendus de la prétendue « décomposition », par Lavoisier, de l'eau en air inflammable dans un tuyau de fer chauffé[75]. Fontana reproduisit ces expériences mais fut d'accord avec Priestley pour nier qu'elles montraient la décomposition de

l'eau. Un médecin local, Francesco Giorgi, affirma que l'eau se décompose bien, mais en air respirable plutôt qu'inflammable. La dispute entre Fontana et Giorgi, utilisée par beaucoup comme une allégorie galiléenne de la crise entre l'État et l'Église en Toscane, se termina au tribunal en 1785 au milieu de l'enthousiasme du public[76]. Ce fut la conclusion heureuse des efforts pour faire de l'eudiométrie fontanienne une technologie étatique de réforme. Elle était devenue la source de la risée publique.

Conclusion : L'atmosphère de la réforme

Quel fut le destin de l'eudiométrie ? L'eudiométrie médicale est communément perçue comme un noble échec au croisement de deux entreprises victorieuses : la chimie analytique et l'hygiène publique. Les historiens de la chimie remarquent que les eudiomètres originaux furent conçus pour évaluer le bien-être moral et médical, mais notent que finalement les opinions « correctes » prévalurent ; les machines eudiométriques furent redéfinies comme d'excellents dispositifs pour déterminer la part d'oxygène dans les échantillons de gaz, utilisés généralement en enflammant ou en faisant exploser le gaz selon la méthode développée par Volta[77]. De même, les historiens de la santé publique et des réformes hygiénistes notent que pendant une brève période les chimistes ont cru qu'une échelle quantifiée d'air sain pourrait être établie ; un tel espoir fut abandonné lorsque « l'échec de cet appareil » nourrit le pessimisme sur « l'association entre environnement et maladie[78] ». Dans ces deux histoires, l'eudiométrie apparaît comme une pause sur le

chemin d'une compréhension désintéressée et rationnelle de l'environnement. Ces histoires négligent les intérêts politiques, commerciaux et moraux qui émaillent la carrière de l'eudiométrie. Les différentes formes de médecine pneumatique échouèrent ou réussirent selon le mouvement politique qui les soutenait. Le réformisme de Léopold I[er] fut fatalement miné par la révolte violente entre prêtres et paysans à Florence en juin 1790 ; la « dissidence rationnelle » de Priestley fut mise en cause lors de l'émeute contre le roi et l'Église en juillet 1791 à Birmingham. Sous les administrations révolutionnaires et napoléoniennes, de nombreux documents témoignent de la survie d'une eudiométrie médicale respectable. Naturalistes italiens et membres de la Société royale de médecine continuèrent à chercher des techniques pour déterminer la qualité des airs nocifs dégagés par les corps humains. Les étudiants de Volta cousirent des sacs trempés d'eau où ils avaient enfermé de jeunes mendiants pour collecter leurs émanations avant de les tester[79]. Des chimistes distingués comme Gay-Lussac, Dumas et Leblanc continuèrent à chercher des méthodes quantitatives pour interpréter le niveau de gaz comme une mesure de santé. Après la Restauration, et spécialement sous la monarchie de Juillet, ces campagnes gagnèrent de nombreux soutiens parmi les statisticiens du nouveau Paris, les économistes et les hygiénistes comme Louis-René Villermé, et furent soutenues au moins jusque dans les années 1840[80].

Le complexe d'administration médicale et de chimie de l'air qui fut utilisé pour établir cette autorité gagna de nouveaux pouvoirs et de nouveaux disciples. Corbin a bien souligné le contraste étonnant entre la quête pour des mesures physico-chimiques et le triomphe du sens de l'odorat chez les médecins comme moyen de déceler la maladie : « Le miasme reste évasif[81]. » L'eudiométrie a-t-elle échoué parce que les experts de cette technique n'ont pas réussi à faire

correspondre leurs résultats aux intuitions des médecins sur la puanteur ? Ce serait une explication convaincante si les chimistes avaient eu pour seul objectif la rationalisation scientifique de l'expérience de sens commun de l'air fétide. Mais les enjeux étaient autrement plus importants. Un ensemble de thèmes juridiques et idéologiques aidèrent à soutenir les tournées de conférences eudiométriques : l'alliance avec le despotisme éclairé ; l'intégration du caméralisme comme moyen de gouverner le corps public ; la recherche de nouveaux marchés pour des techniques et des verreries compliquées ; l'appel au public averti des journalistes, académiciens et administrateurs. Une fois cet ensemble pris en compte, les suites et les successeurs de l'eudiométrie deviennent apparents : la tradition de la médecine militaire développée par John Pringle dans son traité *Diseases of the Army* (6e édition en 1815), la compétition entre les inoculateurs réformistes et les techniques nouvelles de la vaccination jennérienne, et enfin, la réforme des benthamiens et les idées hygiénistes de Chadwick[82]. Ici, l'intérêt précoce de Bentham pour l'eudiométrie prend tout son sens.

En 1774, comme nous l'avons vu, Bentham commença à correspondre avec Priestley à propos de la philosophie médicale et chimique et condamna l'enquête « métaphysique » menée par Scheele pour savoir si « le feu était une entité réelle ou fictive ». Il fit le lien entre les formes de la nomenclature chimique et la prospérité du fantasme corrompu :

> En parlant de n'importe quel objet pneumatique (ou disons immatériel ou spirituel), aucun nom n'a jamais été employé qui n'a pas d'abord été utilisé comme nom d'un objet matériel (ou disons corporel). Prendre les noms de fictions

> pour des noms d'entités réelles a eu pour résultat une confusion et une obscurité déplorables.

L'utilitarisme expulsa ce que Bentham appelait « le souffle pestilentiel de la fiction » hors de la société et du discours juridique : la chimie pneumatique l'expulsa de la nature et de la philosophie naturelle[83]. L'hygiène devint un principe clef de la conception benthamienne de l'ordre civil. Dans son enquête sur cet ordre, intitulée le *Constitutional Code*, le « ministre de la Santé » devait réhabiliter une série de fonctions eudiométriques : la « fonction exemplificationnelle antimalariale » impliquait le contrôle des exhalaisons dangereuses ; d'autres fonctions comprenaient l'enregistrement des changements de l'air et sa relation avec la santé. Sans doute s'agissait-il de lieux communs hippocratiques, mais les administrations et les savoirs qui les sous-tendaient ne l'étaient pas. L'État utilitariste devait être comparé, par exemple, à la stratégie de la police médicale installée par les caméralistes allemands. Là où les autorités comme Justi, Sonnenfels et Frank militaient entre 1750 et 1780 pour un État centralisé et bureaucratisé surveillant les conduites morales et sociales afin de contrôler le bien-être et la croissance des populations, Priestley et Bentham parlaient d'une nécessité philosophique et d'un intérêt raisonné dans la société civile. Le rôle de l'État était un garant de cette société, et non son despote. Le progrès de la société était laissé aux mains de philosophes experts et d'administrateurs médicaux dont la légitimité découlait de leur compréhension des pouvoirs naturels, et non de leur soumission aux pouvoirs civils[84].

La campagne de Bentham proposait d'aller plus loin : le législateur pouvait étendre sagement les réalisations de l'administration médicale. Dans les années 1770, il affirma que

> l'art de la législation n'est que l'art du soin pratiqué à une large échelle. Leur but commun est de soulager les hommes des misères de la vie. Mais le médecin les soulage un par un, alors que le législateur le fait par millions à chaque fois.

L'accumulation des chiffres et l'origine collective de la pathologie sociale furent les principes essentiels de l'administration médicale réformiste. Bentham insistait sur le fait que « ceci n'est pas une analogie fantaisiste » – on devait le considérer comme un récit littéral du travail des administrateurs[85] :

> La médecine, comme on l'appelle communément […], a pour fondement l'observation des axiomes de la pathologie, comme on l'appelle communément. La morale est la médecine de l'âme. La science de la législation est la part pratique de cette médecine.

Par suite, la « pathologie mentale » fournirait les axiomes de la science de la législation : « Dieu interdit qu'aucune maladie dans la constitution d'un état soit sans remède[86]. »

L'eudiométrie médicale fut un exemple important de cette analyse. Les réformes benthamiennes des années 1830 témoignent avec force de ce fait. Edwin Chadwick fut un secrétaire de Bentham à l'époque où son maître composait le *Constitutional Code*. Le livre de Chadwick de 1842 intitulé *Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population* était un hommage aux liens entre administration et météorologie médicale, discutés par Bentham : « la mauvaise ventilation ou le surpeuplement, et leurs conséquences sur les comportements moraux » étaient fondés, avait-il démontré, sur « une cause originale dont nous pouvons affirmer grâce à une haute

autorité scientifique qu'elle est facilement et économiquement contrôlable ». Comme Roger Cooter l'a suggéré, les disciples de Bentham parmi les médecins réformistes firent de l'atmosphère le lieu clef du contrôle médical. Cooter cite le travail de Southwood Smith, un calviniste converti à l'unitarisme de Priestley et le médecin personnel de Bentham. L'anticontagionnisme de Southwood Smith refusait de parler de miasmes comme cause de maladie, et refusait de comprendre l'air comme élément pathogène. Dans son *Treatise on Fever* (1830), il affirma que la maladie se diffusait via les airs parce que la « pauvreté dans sa hutte […], s'efforçant de laisser dehors l'air pur et d'augmenter la chaleur, imite la Nature mais avec trop de succès ». En conséquence, « la pénurie et l'ignorance peuvent créer une peste mortelle ». Dans les mains des anticontagionnistes benthamiens, l'air devint le centre d'intérêt des administrateurs experts et la voie pour moraliser la société. Utilisant les leçons que leur maître avait apprises des chimistes des Lumières dans le Wiltshire et en Toscane, ces réformateurs admirent que le corps humain et le corps social devaient être fécondés par les pneumatiques[87].

CHAPITRE 6

Quand les astronomes marquent leur temps. Discipline et « équation personnelle »

> Ah, je vois que vous me croyez faible à l'extrême, mais vous ne vous rendrez jamais compte que l'incident qui n'a rempli qu'un degré dans le cercle de vos pensées a couvert toute la circonférence des miennes. Personne ne peut savoir exactement en quoi consiste et où se tient un autre horizon.
>
> Thomas Hardy, *Two on a Tower* (1882)

> Astronomie. Il pourrait n'y avoir rien de mieux. Je défie l'ingéniosité des journalistes à convaincre leur public que tout me.mbre donné du prolétariat peut avoir un grief personnel contre l'astronomie.
>
> Joseph Conrad, *The Secret Agent : A Simple Tale* (1907)

Psychologie et équation personnelle : un récit simpliste

L'expression d'« équation personnelle » est apparue au début du XIX^e^ siècle comme un terme canonique pour désigner le fait quelque peu inquiétant que les astronomes semblaient différer les uns des autres dans les temps qu'ils enregistraient en observant le transit des étoiles. Cette différence variait dans le temps et avec le type

d’observation : par exemple, les équations personnelles pouvaient être distinctes lorsqu’il s’agissait du transit de la Lune ou de celui des étoiles. Mais l’équation personnelle possède une histoire qui est caractéristique de l’origine de tout mythe. Dans la communication qu’Edwin Boring donne à la conférence sur « L’histoire de la quantification des sciences » en 1959, l’équation personnelle prend fièrement place dans un récit du mouvement progressiste de la science pour quantifier les réactions au temps, formellement inauguré par Wundt et Donders dans les années 1860[1]. Pourtant, en 1796, l’astronome royal de Greenwich, Nevil Maskelyne, écartait déjà son assistant David Kinnebrook en raison de la différence d’une seconde et demie dans les temps mesurés dans le transit par deux observateurs. Cela correspondait à une différence significative d’environ 13 secondes de l’arc. Le grand astronome allemand Friedrich Bessel, préoccupé de la réduction des catalogues d’observations de Greenwich dans les années 1820 et 1830, fut ainsi crédité de la paternité de cette expression d’« équation personnelle » pour caractériser ces écarts. Il fut à l’origine d’un programme systématique pour déterminer les différences caractéristiques et relatives entre deux observateurs astronomiques. « Personne ne savait à l’époque, expliquait Boring, pourquoi ces différences individuelles existaient[2]. »

Des développements supplémentaires furent nécessaires, apparemment, pour donner naissance à un programme de recherche quantitatif à part entière sur les équations personnelles. Boring se référa aux avancées apportées par la technologie galvanique qui permettaient la construction d’un chronoscope par Wheatstone en 1840 et du chronographe par les astronomes de Harvard et de Greenwich dans les années 1850. Précédemment, l’expression d’« équation personnelle » se référait aux seules différences

spécifiques entre deux observateurs nommés ; puis, entre 1823 et 1834, Bessel travailla à déterminer les différences comparatives entre lui-même et les principaux autres astronomes situés en Allemagne et en Russie. En 1820, Bessel travailla avec Walbeck à Königsberg et établit que la moyenne obtenue était de 1,041 seconde plus basse que celle de son collègue. Walbeck visita Friedrich Wilhelm Struve à Dorpat en Estonie en 1821. Avant 1834, cinq comparaisons directes ou indirectes ont été menées entre Bessel et Struve, montrant l'importance de ce facteur personnel[3].

Les visites personnelles des astronomes aux grands observatoires prirent dès lors une fonction particulière dans le programme de Bessel. Les instruments comme le chronoscope et le chronographe permirent la mesure de l'absolu plutôt que celle relative des équations personnelles. Les méthodes étalons pour observer le transit des étoiles au début du XIX^e^ siècle dépendaient de la coordination du mouvement observé des images à travers les fils du micromètre et du son audible de l'horloge standard – la méthode de l'œil et de l'oreille. La stratégie adoptée par Airy à Greenwich dans les années 1850 impliquait la combinaison du mouvement d'une « étoile artificielle » dont la vitesse de transit pouvait être standardisée, avec un appareil d'enregistrement dans lequel l'initiation du signal galvanique pouvait enregistrer le temps écoulé comme déterminé par l'astronome soumis au test. L'appareil d'Airy comprenait un tambour rotatif uniforme et un puissant électro-aimant qui produisait une trace calibrée ; l'« étoile artificielle » était généralement produite comme image ponctuelle d'une source lumineuse brillante[4]. L'invention de cette complexe technologie électromagnétique entre observateur et image avait des conséquences sur le statut de l'observation astronomique. Plus encore, la technologie de l'équation personnelle représentait l'ultime

accomplissement d'un programme qui quantifiait un réseau d'observateurs astronomiques[5]. Mais les historiens de la quantification en psychologie racontent une histoire plus simple.

Ainsi, selon Boring,

> la découverte de l'équation personnelle par les astronomes et les succès ultérieurs dans la mesure absolue des équations personnelles conduisirent à la fois à l'expérience de complication et à l'expérience de réaction de la nouvelle psychologie scientifique.

C'est ainsi que l'histoire de l'équation personnelle fut colonisée par un récit téléologique de l'émergence de « la psychologie dynamique expérimentale de la motivation ». Le discours de Wundt avant le rassemblement d'astronomes à Speyer en 1861 comme le travail de Donders et de son étudiant de Jaager sur la discrimination, durant la décennie, sont interprétés comme la découverte psychologique que « l'équation personnelle mesure un phénomène psychologique ». Les historiens de la psychologie la rendent même inévitable, par exemple lorsqu'en 1865 de Jaager voit les techniques d'enregistrement utilisées à l'observatoire d'Utrecht comme un problème évidemment psychologique[6]. En fait, une telle découverte représentait pour eux une manœuvre prudente dans la politique expansionniste de la psychologie de laboratoire. Comme Boring allait le suggérer, ici la quantification était le signe sous lequel la psychologie expérimentale allemande saisissait tout un ensemble de pratiques développées à l'intérieur d'une grande variété d'autres disciplines. Il est aujourd'hui familier à l'historien des sciences de voir que les histoires disciplinaires comme celle de la psychologie expérimentale quantitative sont des arguments

puissants pour établir des frontières autour de champs d'enquête. Ces histoires disciplinaires placent l'équation personnelle à l'intérieur d'une préhistoire de la psychologie, et attribuent aux équipes d'astronomes une incompréhension perplexe de ce phénomène, astronomes qui ont gracieusement, bien qu'involontairement, offert à cette psychologie sa plus belle opportunité de développement disciplinaire[7].

Ce récit un peu trop simple réduit le problème de la « personnalité » astronomique à un pur problème psychologique. Mais on ne prête aucune attention à la manière dont les astronomes ont traité cette question. Dans ce récit, la quantification apparaît comme un progrès inévitable. L'incorporation de l'équation personnelle dans la psychologie expérimentale se fait sans explication, si ce n'est le besoin évident de faire de la psychologie une science. Au final, on fait comme si la quantification était un bien universel. Qui pourrait contester aujourd'hui l'augmentation de la mesure précise promise par la transposition des instruments comme le chronoscope dans le laboratoire ? Les contemporains, qui observaient que les laboratoires de la nouvelle psychologie semblaient plus soucieux de télégraphie que de psychologie, témoignaient simplement de cette avance. C'est comme si la quantification était détachée de tout jugement de valeur. Pourtant, comme le montrent les études du laboratoire de William Thomson à Glasgow[8], les valeurs que les expérimentateurs mesuraient sont le résultat d'un choix significatif. Wundt, Titchener ou Cattell organisaient leurs laboratoires pour permettre à des paramètres particuliers d'être mesurés et pour que ces mesures soient probantes. Il est impossible de séparer les procédés de quantification du style de travail qui les soutient[9]. En 1884, travaillant au laboratoire de Wundt à Leipzig, Cattell attaqua la technique du chronoscope de son

maître parce qu'elle ignorait les variations dans les temps d'induction dans l'aimant. Cattell conçut un nouveau « chronoscope à gravité » qui surmonterait ce problème et serait à même aussi de lui « permettre de réaliser les expérimentations seul ». Les ventes d'instruments aidèrent à diffuser les techniques de mesure du temps de réaction aux États-Unis, étendant avec elles les nouvelles valeurs de la quantification[10]. Les technologies sociales forment les travailleurs à faire des mesures significatives ; les technologies matérielles rendent les phénomènes spécifiques mesurables et excluent les autres de toute considération ; les technologies littéraires sont utilisées pour obtenir l'adhésion de la communauté scientifique à la pertinence de ces actions. De tels épisodes permettent de comprendre comment ces technologies fonctionnaient ensemble. La formation d'une discipline se présente simultanément comme le processus d'organisation du travail pour produire ces valeurs et comme le système de savoir qui donne à ces valeurs leurs significations[11].

L'attention portée à cette discipline suggère ainsi des questions différentes au problème de l'équation personnelle. Les nouvelles mesures introduites par Bessel et ses collègues allemands dans l'astronomie du début du XIX^e^ siècle furent accompagnées par une nouvelle variable dont la signification reste mal définie. Les techniques chronométriques développées par Airy et ses administrateurs de l'observatoire furent conçues pour répondre à ce besoin. Comment ces technologies pouvaient-elles changer le régime du laboratoire ? L'équation personnelle calibrait directement la performance disciplinée de l'observateur. Comme Harry Collins l'a suggéré, la calibration « est l'usage d'un substitut de signal pour standardiser un instrument[12] ». Le substitut est supposé avoir les mêmes effets que le signal dont le caractère reste mal défini et

discuté. Le statut de la calibration dépend de la plausibilité de cette identité entre le substitut et le signal. Si l'identité peut être acceptée par les membres du groupe pertinent, alors les stratégies possibles que les membres peuvent utiliser pour rechercher et décrire la source du problème sont soumises à une plus étroite contrainte. Cette contrainte est un processus social propre à l'organisation du travail expérimental. Or, cette spécificité émerge précisément dans l'astronomie du XIX^{e} siècle. L'observateur faisait partie de l'« instrument » qui devait être calibré. Les étoiles artificielles, les horloges galvaniques se substituaient aux méthodes de la vue et de l'ouïe. L'acte d'observer était détruit et puis reconstruit laborieusement à travers une série de substituts de l'expérience « directe » théorique. Cette reconstruction s'accompagnait d'un processus de réorganisation sociale. L'observatoire devint une usine, si ce n'est un panoptique. De « simples » observateurs étaient relégués à la base d'une hiérarchie d'administration et de contrôle, inspectés par leurs supérieurs avec autant d'intérêt que les étoiles elles-mêmes. L'observation fut mécanisée et les observateurs transformés en veilleurs de machine. À Greenwich, de tels travailleurs devaient pointer, respecter des horaires réguliers, surveillés par une administration toujours plus vigilante. Le même sort était infligé aux calculateurs. La division du travail exigeait un contrôle précis sur le nombre croissant de subalternes.

Parmi les aspects les plus étranges de ces changements, on trouve les connotations sociales et morales de la hiérarchie de l'observatoire. La « personnalité » pouvait être disciplinée à travers la bonne conduite morale du lieu de travail et les bonnes habitudes morales de la force de travail. La stratification et la collaboration entre les travailleurs de l'astronomie sont tout à fait comparables à la cohérence des cultures expérimentales et des styles de travail

présents dans des laboratoires plus modernes et à plus larges échelles[13]. Une question supplémentaire se pose : l'astronomie se présentait à son public comme la science de l'empiriste, du héros, du solitaire. Au moins une part de son statut privilégié au XIX^e^ siècle repose sur l'image de l'admirateur des étoiles dans sa tour d'ivoire. Mais les commandes de l'astronomie exigeaient l'interchangeabilité des observateurs, et non plus leur isolement. À cause des nouveaux facteurs comme la personnalité, les observateurs séparés dans l'espace et le temps devaient être calibrés avec la technologie sociale et matérielle. Comment les porte-parole de l'astronomie ont-ils reflété cet état de fait ? La question de l'observatoire comme lieu de travail et celle de l'image publique de l'astronome connectent le problème de la personnalité avec le problème plus large du contrôle. Qui devait administrer l'observation ? À qui pouvait-on faire confiance ? Les problèmes de légitimité bien connus des professionnels et des amateurs rejoignent ici notre propre questionnement.

Les sections suivantes de ce chapitre vont chercher à répondre à ces requêtes. On examinera avec attention l'organisation de Greenwich et des autres observatoires comme des technologies disciplinaires de la chronométrie interagissant avec le lieu du travail astronomique. Des remarques seront faites à propos des images concurrentes du travail astronomique offertes au public du XIX^e^ siècle. Enfin, le chapitre présentera un épisode du conflit entre professionnels et amateurs dans les années 1890, conflit dans lequel le problème de la personnalité occupait une place centrale parmi d'autres tentatives rivales pour limiter l'autorité de l'astronomie. C'est à ce point que la prétention des psychologues à exercer un pouvoir sur l'équation personnelle réapparaîtra, non comme une avancée inévitable et évidente dans la compréhension et la précision

du phénomène, mais comme un des déplacements parmi d'autres pour mesurer, contrôler et discipliner la pratique de l'observation.

Discipliner l'observateur

Lorsque Maskelyne mourut à Greenwich en 1811, le personnel de son observatoire comprenait seulement un assistant, remplaçant de l'infortuné Kinnebrook. Avant la fin du siècle, le personnel se composait de cinquante-trois membres, dont dix assistants, six calculateurs permanents et vingt-quatre calculateurs surnuméraires[14]. La méthode d'enregistrement des transits avait également changé. William Ellis, un ouvrier à la retraite à Greenwich, se remémorait la méthode traditionnelle de la vue et de l'ouïe, encore en usage en 1854. Utilisant les battements d'une horloge pendulaire située à proximité au moment où l'image de l'étoile croisait les fils de l'oculaire,

> c'était dans tous les cas mon habitude de prendre la seconde de l'horloge au moment où l'objet approchait du premier fil, de compter pendant le transit sans regarder l'horloge, puis de vérifier invariablement le compte après le passage au dernier fil[15].

Le nouveau cercle de transit d'Airy et son chronographe-tonneau électrique imposaient un nouveau régime d'observation. Une description détaillée fut fournie par Walter Maunder, assistant à l'observatoire de Greenwich à partir de 1873 : un bouton galvanique était pressé pour lancer le timing du transit quand l'image de l'étoile

traversait chacun des dix fils verticaux dans le champ, et un signal séparé était utilisé pour enregistrer la position d'un fil mobile horizontal coïncidant avec le trajet de l'image. Un second observateur lisait les sept microscopes à cercle pénétrant le pilier du télescope pour enregistrer les déclinaisons de l'arc. Au total, la mesure de la bonne ascension, de la bonne déclinaison, de la bonne pression de l'air et de la bonne température exigeait l'enregistrement de vingt-deux mesures chiffrées[16].

La coordination de l'enregistrement, de la réduction rapide et précise des observations et d'un horaire rigide pour le travail des assistants comprenant la pratique du pointage introduite par Airy pour tous ses subordonnés, promeut un sévère régime disciplinaire à Greenwich[17]. Maunder rappelle que, sous l'« exploitation insupportable » d'Airy, les assistants ne pouvaient plus endurer cette tâche passé l'âge de quarante-six ans. Les calculateurs commençaient généralement à l'adolescence et étaient écartés au plus tard à l'âge de vingt-trois ans. La promotion n'était possible que si l'on obtenait son certificat de compétence pour l'observation : « Le système combinant le travail de calculateurs non permanents avec des assistants permanents tend à renforcer matériellement notre pouvoir », notait Airy, soulignant combien la division du travail aidait à la productivité du laboratoire. De telles préoccupations n'étaient pas uniquement l'apanage d'Airy. Durant les années 1820, le mathématicien Charles Babbage s'efforça d'obtenir le soutien du gouvernement pour mécaniser le calcul des tables astronomiques. Dans ses analyses de l'économie politique et de la machinerie publiées en 1832, Babbage utilisait les tactiques françaises de division du travail de calcul en une hiérarchie d'ouvriers qualifiés et non qualifiés comme son principal exemple pour montrer les vertus du contrôle d'une force de travail disciplinée. Les calculateurs non

qualifiés « étaient considérés comme plus adéquats dans leurs calculs que ceux qui possédaient un savoir plus étendu du sujet ». La computation astronomique pouvait ainsi singer « celle d'une personne qualifiée sur le point de construire un moulin à coton ou à soie, ou tout autre établissement[18] ». À Greenwich, à la même période, le prédécesseur immédiat d'Airy, John Pond, avait déjà exigé « des tâcherons infatigables, durs à la peine, et obéissants » comme assistants et calculateurs. La critique d'Airy du régime de Pond ne pointait pas son échec en termes scientifiques mais administratifs. L'idéal de l'observatoire devint semblable, selon Maunder, à celui des bureaux de Whitehall, avec ses registres pleins d'étoiles à la place des « tables des impôts sur le revenu[19] ».

Pour Airy, cet « homme si profondément saxon » comme le décrivait son collègue de Cambridge James Stuart, la discipline morale allait de pair avec la discipline quantitative[20]. Il déclara à l'amirauté que seul « un homme de rang respectable dans la société » pouvait être préservé « du danger d'être corrompu par les fabricants de chronomètres et de perdre l'autorité sur les assistants pour avoir eu recours à leur aide dans des difficultés embarrassantes ». Les hommes de Cambridge satisfaisaient généralement ces exigences. Autrement, les assistants les plus humbles et les plus mal payés, tel le vétéran John Henry Bellville, étaient simplement loués pour leurs « bonnes manières […] Ces choses sont importantes dans une institution où, les salaires étant généralement bas, nous avons des difficultés à trouver des assistants au-dessus d'un rang assez peu élevé ». Les bonnes manières étaient essentielles à la mission de Bellville. Entre 1836 et 1856, il fit le tour des horlogers de Londres, vérifiant leurs montres avec un chronomètre standardisé[21]. Le système télégraphique de communication du temps d'Airy évitait d'avoir recours à ce genre de

tâche. Lorsqu'il développa des liens entre les enregistreurs de Greenwich et le réseau télégraphique des chemins de fer au début des années 1850, il se félicita non seulement des liens désormais disponibles entre les observatoires, mais aussi du fait « que l'Observatoire royal ait ainsi silencieusement contribué à la ponctualité des affaires à travers une large portion de ce pays industrieux[22] ».

Les historiens qui se sont intéressés à l'époque d'Airy ont justement souligné « l'esprit de fabrique » qui régnait à l'observatoire[23]. Cette expression ne renvoie pas seulement à la rectitude morale et la vigilance disciplinaire imposées par Airy. La connexion entre la division du travail de l'observatoire, les instruments d'auto-enregistrement et le télégraphe électrique était un des aspects du processus par lequel les réseaux d'observatoires étaient établis, et par lequel ces réseaux internationaux commencèrent à être coordonnés et associés au puissant réseau du commerce et de l'Empire[24]. Les grands observatoires européens, comme ceux d'Arago à Paris et de Quetelet à Bruxelles, furent des nœuds essentiels dans ce réseau. Arago et Quetelet furent tous deux des administrateurs précoces de ces systèmes afin de minimiser l'effet de personnalité. Arago chercha à séparer les composants optiques et auditifs de l'enregistrement, et fit fabriquer un mécanisme de déclenchement pour marquer le temps écoulé sur le chronomètre[25]. Quetelet, comme nous allons le voir, collabora avec Greenwich pour évaluer la personnalité des observateurs. D'autres institutions modèles de la discipline astronomique comprenaient l'observatoire de Göttingen avec Gauss et Harding (1816) dans lequel les personnalités avaient été évaluées pour la première fois en 1833, et le quartier général de Struve à Pulkovo, bâti à partir du plan de montage du télescope de Göttingen et de la division des

tâches, représentant le centre d'un nouveau programme de l'astronomie de précision et de la géodésie qui incluait une vue d'ensemble de l'Empire russe et, comme un visiteur le déclara, « devait assister et encourager les jeunes astronomes […] comme Louis Agassiz le fait ou prétend le faire en zoologie à Cambridge (Mass.)[26] ».

Les centres d'intérêt de l'éducation, des affaires et de la navigation étaient liés à ceux des administrateurs de l'observatoire et de l'État. Le temps était une commodité qu'Airy et ses collègues contrôlaient et distribuaient. L'établissement controversé du premier méridien (*Prime Meridian*) en 1884 marqua le sceau de son autorité. On a pu démontrer que l'attaque anarchiste contre l'observatoire de Greenwich, fictionnalisée par Conrad en 1907, « ne pouvait pas avoir touché un plus fort symbole de l'autorité politique centralisée[27] ». Les recherches sur les connexions entre le pouvoir des laboratoires du XIX^e^ siècle tels ceux de William Thomson à Glasgow ou de Louis Pasteur à Paris, et les réseaux de communication, aident à éclairer le rôle des observatoires. La notion développée par Cannon de « science humboldtienne », programme qui combine les domaines de la mesure de précision avec les ambitions d'une science planétaire, est aussi un des traits de l'entreprise des observatoires, entreprise qui affectait les aspects à la fois internes et externes de l'administration de l'observatoire. Les institutions des astronomes fournissent les modèles pour de nouvelles sciences de la Terre comme le géomagnétisme et la météorologie. En 1845, John Herschel dit à la British Association pour l'avancement des sciences à Cambridge que « tout observatoire astronomique qui publie ses observations devient un nœud pour la formation qui l'entoure, une véritable école de la pratique exacte », et que le magnétisme et la météorologie devaient maintenant faire

partie de ces pratiques. Les préoccupations d'Airy en matière de développement avec le géomagnétisme consistaient à lier son institution encore plus fermement à ces réseaux et, en retour, incitaient d'autres différenciations de fonctions à l'intérieur du système de Greenwich. Les organisations comme Greenwich ou Pulkovo divisaient leurs fonctions entre départements terrestres et astronomiques, entre affaires chronométriques et stellaires[28].

La discipline et la hiérarchie à l'intérieur des observatoires allaient de pair avec la formation d'un monde discipliné en dehors de leurs murs. Bruno Latour a montré que les scientifiques ont transformé ce monde extérieur pour le rendre sensible à la mesure, en le changeant pour qu'il se conforme au régime des laboratoires. Les essais héroïques du vaccin de Pasteur impliquaient ainsi la transformation d'une ferme en station scientifique sur le terrain[29]. Les astronomes ont eu affaire à la même tâche. C'est dans ce contexte qu'ils ont résolu par la construction de techniques la question de l'équation personnelle. Dans les évaluations de la différence entre les positions de l'observatoire, dans les comparaisons entre les données des observatoires, et dans les collaborations internationales si souvent célébrées comme les expéditions pour observer l'éclipse ou le transit de Vénus en 1876, les astronomes emportent avec eux leur régime discipliné, avec sa nouvelle technologie complexe. Herschel disait qu'« un bateau est un observatoire itinérant ». De telles stations mobiles de terrain devaient pouvoir être dirigées par l'administration à partir des quartiers généraux en métropoles[30].

Avec cette technologie, les problèmes de la personnalité étaient confrontés et contrôlés. Pour Airy, un lien essentiel fut la connexion entre Greenwich et Pulkovo, utilisant Altona comme un point intermédiaire. En 1844, il organisa la distribution de part et d'autre

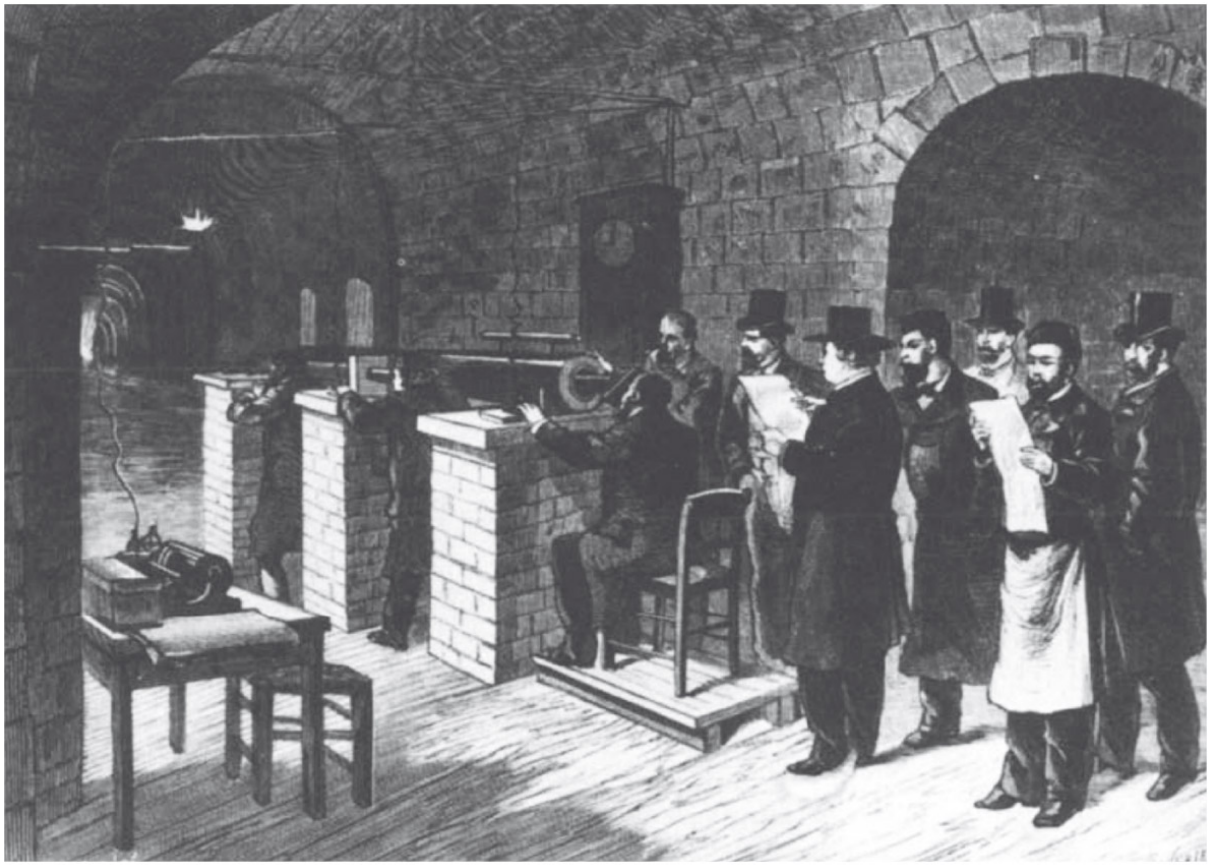
de la mer du Nord de 42 chronomètres confiés aux observateurs du transit qui « étaient doublement interchangeables afin d'éliminer non seulement l'équation personnelle, mais aussi le changement graduel dans l'équation personnelle[31] ». Deux ans plus tard, Airy chercha à enrôler l'astronome allemand P.A. Hansen dans son programme de recherche sur les mouvements de la Lune. Airy commanda une nouvelle monture azimutale pour confirmer la supériorité du travail de Hansen sur les données précédemment acceptées. Comme Meadows le remarqua, de tels changements modifièrent aussi le régime d'observation à l'observatoire. La collaboration avec l'astronome allemand s'avéra justifiée et utile : les nouvelles figures révélèrent aussi que l'un des observateurs de Greenwich avait une personnalité qui différait pour la Lune et pour les étoiles[32].

La collaboration avec d'autres astronomes conduisit également à un mouvement décisif dans l'administration de la personnalité des observateurs : l'usage du chronographe à tonneau galvanique à partir de 1854 pour accompagner le cercle du transit et de l'altazimut. Ce fut une technologie qu'Airy emprunta à Bond, qui travaillait à Harvard, et à Ormsby Mitchel, travaillant à Cincinnati. Mitchel raconta à Airy sa stratégie pour l'établissement de « l'équation personnelle absolue de l'observateur ou ce que je devrais appeler la "personnalité des yeux" ». Mitchel écrivit à Greenwich à propos de son travail sur le personnel de Cincinnati, et simultanément sur une série de trente autres sujets, non astronomes, pour déterminer la gamme et la variation de ces personnalités absolues. « L'anticipation inconsciente » émergea comme une tendance presque universelle parmi ses sujets. Mitchel prescrivit à la fois une « attention spéciale » et l'adoption de sa technique complexe de chronographe électromagnétique. Mitchel affirma que

« les grandes différences existantes entre observateurs […] ne sont pas dues à la constitution psychologique, mais presque entièrement à de mauvaises habitudes d'observation ». Ces habitudes pouvaient être disciplinées avec de nouvelles technologies. Tandis que l'observatoire à Cambridge exprimait un vif intérêt pour les propositions de Mitchel, Airy les adopta avec enthousiasme[33]. Il trouva que la méthode de Mitchel avait besoin d'une division supplémentaire du travail : de nouvelles tâches comprenant l'ingénierie galvanique, la préparation du papier et la conversion de ces traces de papier en figures. La taille des équations personnelles pouvait être ainsi réduite de moitié ; en utilisant son observateur Edwin Dunkin comme étalon de la personnalité, Airy fut capable de constituer une classification fiable d'équations personnelles et de leurs changements[34].

Les problèmes étaient étroitement liés aux nouvelles technologies utilisées pour construire le réseau astronomique international. Greenwich fut doté d'un site de pierres plates sur lesquelles les astronomes étrangers avaient mis en place les instruments de transit afin de comparer leurs personnalités avec le personnel de Greenwich[35]. Quetelet citait volontiers l'anecdote de Kinnebrook lorsqu'il travaillait avec Sheepshanks sur la jonction entre les observatoires de Greenwich et de Bruxelles en 1838. Il écrivit que ces problèmes étaient une question d'échec dans la formation astronomique : « Cette circonstance est particulièrement marquée chez ceux qui n'ont pas encore acquis une longue habitude de l'observation. » Le problème de la fatigue et le déficit d'expérience pouvaient être résolus par les techniques de la discipline astronomique[36]. De telles remarques montrent que, tandis que les astronomes reconnaissaient que l'équation personnelle était un problème lié au caractère de l'observateur, il n'était pas possible

de le confier à l'investigation psychologique. Considérons deux situations données, une au début et l'autre à la fin du XIX^{e} siècle. Maskelyne décrit ses problèmes avec Kinnebrook en détaillant les beautés de son horloge de Graham et l'instrument de transit de Bird. Il en appelle à la plus haute instance – celle des fabricants d'instruments de précision de Londres. Il décrit ensuite la méthode de la vue et de l'ouïe, établie par son grand prédécesseur Bradley. Finalement, il définit ce qui doit être faux :



3. Tests des observateurs du transit de Vénus
Les essais concernant les « équations personnelles » des observateurs, menés à Paris lors de la préparation du transit de Vénus en 1876. Une maquette du transit de la planète devant le Soleil est disposée à cent mètres de distance au bout du tunnel ; un enregistreur à tambour est au premier plan sur la gauche. Les sujets doivent appuyer sur les boutons galvaniques lorsque le transit leur apparaît, ce qui permet de mesurer les différences de leurs temps de réaction. Tiré de *L'Illustration*, vol. 68 (automne 1876), p. 392. Repris avec la permission de *Science in Context*, vol. 2 (1988), 115-146, p. 125.

> Je n'arrive pas à croire que mon dernier assistant continua d'utiliser cette excellente méthode d'observation, mais plutôt qu'il se fourvoya dans sa propre méthode à la fois irrégulière et confuse ; autrement, je ne vois pas comment il peut avoir commis des erreurs aussi grossières […] L'important est de

> toujours viser la vérité, et d'éviter la méthode partiale d'observation[37].

À la fin du siècle, Maunder décrivit Kinnebrook comme « un martyr de la science ». Le problème de la personnalité était un aspect du caractère humain, mais pour cette raison il était gérable par la discipline astronomique :

> Il y aura toujours une différence entre l'homme avide, rapide et impulsif qui anticipe habituellement l'instant où il voit l'étoile et le fil ensemble, et le flegmatique, homme lent et sûr qui attend prudemment jusqu'à ce qu'il soit assez sûr que le contact a eu lieu, et puis délibérément et fermement l'enregistre. *Ces différences sont si proprement personnelles à l'observateur qu'il est tout à fait possible de les corriger*[38].

Entre l'époque de Maskelyne et celle de Maunder, le concept d'équation personnelle a émergé. Mais cette émergence n'impliquait pas une perte d'autorité de la communauté astronomique au profit de la personnalité de l'observateur. Cette autorité s'affirma encore plus. Elle impliquait en revanche une perte d'autorité de l'observateur au sein de la discipline de l'astronomie. Cette perte fut cruciale dans l'évolution des styles de travail des astronomes et de leur image publique.

Entre la tour de guet et l'atelier

Les dépenses, le statut et l'évaluation des observateurs délimitent une communauté relativement nouvelle d'« astronomes techniciens ». Leur travail contrastait avec celui des humbles. Comme dans d'autres observatoires, le réflecteur géant de Lord Rosse, autrement appelé « Léviathan de Parsontown », en Irlande, reçut la visite de flots de touristes fascinés. En 1854, Airy raconta à une femme amatrice d'astronomie que,

> si la nuit est belle et dégagée, elle est utile pour Lord Rosse ou pour un astronome professionnel. Si la nuit n'est pas claire, elle n'est d'aucune utilité pour personne […] confier un télescope à quelqu'un d'autre qu'à un astronome technicien lors d'une nuit propice à l'observation, c'est gaspiller un énorme capital d'argent et d'intelligence qui est investi dans cet unique instrument[39].

L'administrateur des réflecteurs de Parsontown, Thomas Romney Robinson, avait été l'un des premiers astronomes britanniques à mesurer les personnalités, utilisant le limbe solaire en 1830 comme étalon d'observation[40]. Lorsque William Roxan Hamilton reprit la chaire d'astronomie de Dublin, il dit à Robinson qu'il ne voulait pas se compromettre dans les tâches d'observation ; Robinson répondit qu'Airy lui-même détestait l'observation et que Pond avait abandonné le travail de contemplation des étoiles :

> Il n'est pas nécessaire à un homme d'observer par lui-même ; il peut rendre […] de plus importants services à la science par ses calculs, et obtenir de ses assistants qu'ils observent pour lui. Schumacher (à Altona) observe très peu lui-même, mais il est très précis dans le contrôle de ses assistants […]

> Bessel ferait un professeur d'astronomie de premier plan, bien qu'il n'ait jamais mis son œil sur un télescope[41].

La démarcation entre le superintendant et les observateurs fut souvent soulignée. Dans ses conférences publiques destinées à lever des fonds pour de nouveaux observatoires américains, Mitchel affirma que cette démarcation était nécessaire « parce que l'observateur lui-même n'est rien d'autre qu'une machine changeante et imparfaite, littéralement incapable de marquer les moments exacts requis[42] ». John Herschel était d'accord avec ce constat : « La réduction du travail mécanique de tels observatoires par un appareil d'auto-enregistrement est un sujet sur lequel on n'a pas suffisamment insisté », affirma-t-il devant l'assistance de la British Association. « La partie purement mécanique du travail de l'observateur » devait être minimisée afin de libérer l'astronome de l'erreur et de la déchéance[43]. Mitchel remarquait que les nouvelles techniques chronométriques adoptées à Cincinnati et maintenant étendues à Cambridge modifiaient ce qui était exigé d'un observateur accompli :

> Alors qu'avec l'ancienne méthode une longue pratique était requise pour former un observateur aguerri (le meilleur observateur ne pouvait pas enregistrer autre chose que les transits à travers les sept fils), avec la nouvelle méthode, en quelques nuits de pratique, on peut acquérir toute l'expérience souhaitée[44].

Le problème de la personnalité était ainsi en partie lié au problème de la position sociale de l'observateur. Ce problème allait peser parce que le statut de l'observateur astronomique était un

élément clef dans l'attraction publique exercée par l'astronomie. Mitchel fut ainsi un des nombreux astronomes à essayer de conquérir le soutien du public, et souvent de la manière financière la plus tangible pour encourager la nouvelle astronomie incarnée par les tables publiées, les instruments de précision et les beaux observatoires. De bonnes observations étaient en effet à la fois rapides, complexes et coûteuses. La légitimité des nouvelles techniques était à ce prix.

L'histoire de l'équation personnelle s'inscrit dans la crise de légitimation de l'astronomie du XIX^e^ siècle. En 1851, Mitchel mit en scène une démonstration de la précision et de l'efficacité de son chronomètre galvanique à l'occasion de la visite de l'Association américaine pour l'avancement de la science. En enrôlant des alliés comme l'astronome de Harvard Benjamin Pierce, il fit taire les critiques contre le niveau de précision qu'il prétendait avoir atteint, et ainsi aida à la mécanisation de l'observation[45]. Sa tournée de conférences et les expositions à son propre laboratoire avaient des buts similaires[46]. Mitchel y développait les thèmes de la simplicité et de la permanence de l'entreprise astronomique et de l'identité de toutes les variantes individuelles apparentes des observateurs :

> Laissez-moi vous rappeler que l'astronome a toujours vécu, et n'est jamais mort. La sentinelle sur la tour du guet est soulagée de son devoir, mais une autre va prendre sa place, et la vigie n'est jamais interrompue. Non, l'astronome ne meurt jamais. Il commence ses recherches au sommet des collines du paradis où il étudie les étoiles tout au long de la vie antédiluvienne. Le déluge balaie la Terre de ses habitants, de leurs villes et de leurs monuments ; mais quand la tempête

> se tait, et que les cieux brillent de beauté, du sommet du mont Ararat l'astronome reprend ses veilles interminables[47].

L'établissement d'un réseau mondial d'observateurs également héroïques fut alimenté par ce panégyrique – Mitchel écrivit que « les tours de guet de la science couvrent maintenant la Terre entière, et que les sentinelles ne dorment jamais[48] ». Il accompagnait ces images de l'observateur en éternel héros par les leçons qu'il enseignait sur la pure observation. Parmi celles-ci, on trouve la vérité de l'hypothèse nébulaire et la déclaration que le système solaire provenait d'un nuage condensé de fluides lumineux. Ces déclarations suscitèrent un immense engouement du public pour Mitchel et ses collègues. Ils semblaient associer les intérêts terrestres au progrès moral[49]. Lorsque l'astronomie faisait la une des journaux, les conférenciers comme Mitchel pouvaient en tirer profit. Mais dans les mêmes conférences, si les astronomes se décrivaient eux-mêmes comme de parfaites sentinelles, ils soulignaient également la discipline attentive que de telles sentinelles imposaient à leurs subordonnés afin que leur travail quotidien incarne l'astronomie de précision.

Si les astronomes se présentaient comme des observateurs isolés dans leurs tours de guet, ils vivaient en fait comme des administrateurs d'ateliers mathématiques. L'obligation de réduire au minimum la mécanisation de l'observation renvoyait à la nécessité de mieux préserver la prérogative empirique de l'astronome et de gagner le soutien du public. Ce soutien était essentiel pour financer cette technologie coûteuse sur laquelle l'astronome s'appuyait.

L'usage ambivalent de l'imagerie de l'empirisme et de la mécanisation chez Mitchel était partagé par ses collègues. En septembre 1847, l'astronome de Harvard William Bond obtint

l'achat d'un télescope à réflexion allemand très coûteux, le jumeau du grand instrument de Struve à Pulkovo. Il avait aussi planifié l'introduction de nouvelles technologies pour vérifier la personnalité. Il devait persuader son public que le coût de son réflecteur et des instruments pour observer le transit était justifié. Dans les jours suivants, il fut capable d'annoncer que son réflecteur avait résolu la nébuleuse d'Orion tandis que l'instrument géant de Rosse ne l'avait pas fait. On considérait que cette nébuleuse était composée de véritables fluides nébuleux, donc pas résolvables en étoiles. Orion était un objet bien connu du public de Bond : son caractère fluide était souvent mentionné par les conférenciers comme Mitchel comme une preuve avérée du bien-fondé de l'hypothèse nébulaire. Aujourd'hui, la nébuleuse n'est toujours pas résolue ; il est possible que Bond fût mal dirigé en voyant Orion dans un contexte d'étoiles faibles. Mais lorsqu'il s'entretint avec le président de Harvard au sujet du nouveau télescope, Bond ne « voyait pas d'autre moyen pour familiariser le public avec les mérites du télescope » que d'annoncer cette résolution, bien que prématurée. Ici, on a la preuve de la force de cette relation entre l'image publique de l'astronomie et le comportement des observateurs astronomiques[50].

La carrière de l'un des plus fidèles disciples de l'hypothèse nébulaire, John Pringle Nichol, en offre une confirmation supplémentaire. En 1836, Nichol commença à reconstruire l'observatoire de Glasgow en achetant des horloges et des télescopes allemands coûteux, puis il fit appel à la ville : « Je ne doute pas un instant que, si le peuple de Glasgow voyait ce qu'est réellement l'astronomie, il pourrait construire lui-même un observatoire. » Il deviendrait ainsi « l'un des plus magnifiques établissements de l'Empire[51] ». Le coût de l'opération précipita Nichol et ses partisans

dans la faillite. Il fut contraint d'organiser des tournées de conférences en Grande-Bretagne et aux États-Unis et de s'engager dans une vaste campagne de publication pour compenser ses pertes ; il produisit, ce faisant, certains des textes les plus importants du siècle dans les domaines de l'astronomie populaire et de l'hypothèse nébulaire. Pendant l'hiver 1847-1848, il rencontra Mitchel à New York. Mitchel lui sembla être « un vrai charlatan qui avait convaincu un large public qu'il existait une alliance indissoluble entre lui et l'honneur de l'astronomie américaine[52] ». C'était là une réaction de conférencier à succès face à son plus proche concurrent. Le lien entre la popularisation de l'astronomie et la mécanisation des observatoires apparut clairement lorsque Nichol fit du lobbying auprès du Trésor pour obtenir des financements. Le gouvernement répondit que l'observatoire de Glasgow serait soutenu financièrement si Nichol acceptait de rejoindre le programme de mesure de précision du transit et d'enregistrement magnétique et météorologique mené à Greenwich par Airy. Après la mort de Nichol en 1859, Robert Grant lui succéda ; c'était un fidèle disciple d'Airy qui fit rapidement de Glasgow un rouage de la grande machine des mesures techniques de précision[53].

Cette machine avait besoin d'une histoire, celle qui lui permettrait de se distinguer de l'empirisme mythique des tours de guet. Mitchel avait utilisé l'image de la tour de guet pour signifier à la fois la continuité des données astronomiques et l'invulnérabilité de l'observatoire par rapport aux intérêts extérieurs, qu'il s'agisse de querelles politiques ou de perturbations plus terre à terre. Même la forme architecturale à laquelle Mitchel faisait référence semblait dépassée. La dernière tour d'observation était probablement celle construite à Bogota en 1802. Désormais, le nouveau modèle à la mode avait un dôme central dans lequel le télescope prenait

fièrement place, fermement arrimé sur d'imposants piliers et entouré de salles occupées par les équipes auxiliaires de mécaniciens, de calculateurs et d'observateurs, placés sous le contrôle du directeur de l'observatoire[54]. Une encyclopédie anglaise de 1810 remarque qu'

> une telle description, celle d'une tour érigée sur une éminence, correspond bien aux observatoires anciens mais ne s'applique plus aux pratiques modernes, dans lesquelles la fermeté des fondations et une disposition commode des instruments sont considérées comme essentielles.

C'est ainsi qu'étaient conçus les nouveaux plans des grands observatoires allemands comme ceux de Gauss à Göttingen ou du Centre d'astrophysique de Potsdam[55]. Sous l'hégémonie allemande de Bessel et de ses collègues, l'astronomie prit conscience de sa propre continuité historique et de sa puissance présente, due à l'entreprise de réduction des données de l'observation accumulée par l'analyse des sources d'erreur. Herschel affirma que cela témoignait du fait que

> l'astronomie est une science particulièrement en accord avec le caractère national allemand […] cette précision méticuleuse qui s'attache au moindre détail, et n'est pas satisfaite avant d'avoir atteint la perfection[56].

Herschel, en tant que rapporteur pour la Société royale d'astronomie, fut chargé d'attribuer des médailles à Bessel et à Heinrich Schumacher, qui aidèrent à coordonner ce programme en éditant la principale revue d'astronomie de l'époque et en faisant

connaître les méthodes de Karl Gauss pour l'analyse et la réduction, qui faisaient partie du programme élémentaire de Bessel. Cela poussa Bessel à construire un modèle d'équation personnelle relative ; la réduction de données supposait en effet d'identifier et d'éliminer des perturbations tant physiques (telles que l'aberration, la nutation ou la réfraction atmosphérique) que personnelles[57]. Son collègue Wilhelm Olbers attira d'abord l'attention de Bessel sur les données produites par Greenwich, notamment celles de Bradley et de Maskelyne. Le résultat du travail que Bessel mena à Königsberg fut publié dans deux importants volumes, les *Fundamenta astronomiae* (1818) et les *Tabulae Regiomontanae* (1830)[58]. Il faut souligner que Herschel considérait ces ouvrages de Bessel comme « la perfection du travail livresque en astronomie ». Pour les astronomes européens, la « vaste accumulation de capital scientifique » de Bessel offrait un socle pratique autant qu'économique à leur discipline. L'équation personnelle faisait partie de cette nouvelle économie[59]. D'où le commentaire de Maunder dans son histoire populaire de l'observatoire de Greenwich : pour l'astronome, « la vie ressemble, par certains côtés, à celle de l'ingénieur ; par d'autres, à celle du comptable[60] ».

L'opposition entre l'observateur et le comptable suggère un lien essentiel entre l'équation personnelle et les débats du temps sur la méthode scientifique. L'astronomie était alors structurée par la discipline. Les hiérarchies entre l'empirisme et la théorie, entre les élites savantes et les humbles agriculteurs, posaient des problèmes épineux aux défenseurs de la science victorienne tels qu'Airy, Herschel et leur collègue de Cambridge William Whewell[61]. Pour Whewell, la mécanique céleste dominait les sciences « permanentes » et, comme il l'écrit en décembre 1834, elle constitue « bien entendu mon modèle de science[62] ». Dans le passage

consacré aux « instruments et outils de l'astronomie pendant la période newtonienne » de son *Histoire des sciences inductives* (1837), Whewell explique que le travail collectif de précision est

> un effort qui se poursuit, et au sujet duquel il existe des divergences d'opinion sur presque tous les points ; mais le nombre de ces divergences est la meilleure preuve de la certitude et de l'exactitude de ces théories que tous partagent.

Dans l'histoire de Whewell, Airy tient le rôle du principal défenseur de cette précision extrême et du succès des observations ; l'équation personnelle n'est pas mentionnée avant la troisième édition de 1857, et seulement parce que Whewell pouvait affirmer que les effets de l'« erreur » étaient désormais neutralisés. Le remplacement des méthodes de perception physique (par l'œil et l'oreille) par « la combinaison, et presque l'identification, de l'observation par le toucher et de son enregistrement par le galvanisme » valait d'être noté dans l'*Histoire*. Cette technique faisait désormais partie de l'observatoire idéal, et ajoutait les piles galvaniques à la liste des équipements requis pour la science idéale[63].

Des autorités compétentes comme Airy et Whewell étaient fameuses pour leur suspicion profonde à l'égard du « baconianisme », compris comme une certaine liberté prise à l'égard des compétences techniques. Le discours de Whewell adressé à la British Association dès 1833 est sur ce point très explicite : la recherche scientifique est le domaine réservé des experts. Au colloque tenu à Cambridge cette année-là, la conférence de Whewell était habilement nuancée : il condamna vivement les espoirs des

simples amateurs qui pensaient pouvoir participer au progrès de l'astronomie, « la reine des sciences », « la tâche qui incombait à la partie la plus douée de la population pour les cinq mille années à venir », tout en donnant aux plus dévoués la consolation de certaines fonctions précisément définies. Whewell affirmait que la collecte de faits sans théorisation était strictement inutile et que, « même pour les contributeurs subordonnés de la science », l'intervention de superviseurs connaissant les mathématiques était nécessaire pour la mise en ordre du travail[64]. Ce souci méthodologique rejoignait un but politique précis que Whewell et Airy s'étaient donné en 1832-1833 : trouver un soutien financier public pour le programme de réduction des observations astronomiques. Des projets d'utilisation des réseaux d'observateurs ayant des formations diverses firent surgir immédiatement la question de l'équation personnelle[65]. Parce qu'il visait un certain niveau de soutien du gouvernement, le plan issu de la conférence de Cambridge avait besoin d'être reçu avec bienveillance. Le « Rapport sur le progrès de l'astronomie dans notre siècle », rédigé par Airy (1832) et adressé à la British Association pour l'avancement de la science, comprenait une critique acerbe du modèle anglais traditionnel d'observation astronomique. La carrière de l'Association allait être marquée par les relations étroites de ses directeurs avec l'élite de la recherche astronomique européenne. Arago, Quetelet, Schumacher et Bessel purent obtenir des positions importantes dans l'organisation[66]. Airy, qui était alors directeur de l'observatoire de Cambridge, utilisa son admiration pour la réduction des données de Bradley accomplie par Bessel en 1818. Il harangua son public en faisant appel au patriotisme et à la théorie. Alors qu'« en Angleterre un observateur pense qu'il a fini son travail quand il a fait une observation », Airy déclara que, « dans les observatoires étrangers »,

la tabulation quantitative et la réduction de données « sont considérées comme méritant davantage d'un astronome, car elles exigent de plus grandes capacités intellectuelles que la simple observation d'un corps à travers un télescope ». Airy suggérait qu'il espérait un important soutien pour la réduction d'autres données de Greenwich[67].

Whewell se saisit de l'idée l'année suivante à Cambridge et cita Airy *in extenso*, puis expliqua les conséquences de cette conception de l'observation astronomique :

> Les observations astronomiques elles-mêmes suggèrent de modifier le projet dans son ensemble ou dans ses détails, et ne peuvent être appréciées à leur juste valeur sans réduction des données […] cela ne peut que nous désoler de voir tant de compétences, de travail et de zèle gaspillés ainsi.

La campagne fut efficace. Airy, Herschel et Francis Baily firent pression avec succès sur l'Association et le gouvernement pour le financement des réductions ; en 1840-1841, une nouvelle demande de soutien pour la réduction des observations lunaires de Greenwich fut un nouveau succès. Des sommes conséquentes furent obtenues par Airy et son équipe, qui travaillaient au sein de l'Association pour réduire et publier les données des observatoires de Greenwich, de Paris et d'Afrique du Sud. Cet effort constituait la partie centrale du projet de construction d'un réseau mondial d'astronomie, mais il renforçait en même temps la stratification à l'intérieur de cette organisation[68].

À la fin du siècle, il était possible de distinguer clairement l'incompréhension populaire de la discipline professionnelle.

Maunder fit la satire de « l'image frappante et haute en couleurs de l'astronome plongé dans sa fascinante occupation ». Il opposait « l'astronome chanceux qui, derrière son télescope, découvre – et ne fait que découvrir », et « l'astronome professionnel qui ne s'intéresse pour ainsi dire pas aux hauts lieux du ciel ». Maunder expliquait que la recherche de comètes et d'astéroïdes, la cartographie de la surface des planètes et la spectroscopie étaient d'« un grand intérêt pour le grand public, et passionnaient de nombreux astronomes amateurs. C'est pourquoi ces sujets ne font pas partie du programme de notre observatoire d'État[69] ». Cette déclaration provocatrice était une manœuvre hautement stratégique dans le milieu astronomique à la fin de la période victorienne. Maunder était le fondateur d'un groupe d'amateurs réunis sous le nom de British Astronomical Association et l'éditeur de son journal. Pendant les années 1890, il refusa fermement de publier des récits sur l'observation de canaux martiens et sur la possibilité d'une vie martienne. Ce refus s'explique par les convictions religieuses de Maunder qui le rendaient hostile à l'idée de la pluralité des mondes. Il fit remarquer qu'en matière d'observation de Mars, comme dans d'autres types d'observation, il existe « une grande divergence entre la description des divers observateurs », et que « nous ne pouvons supposer que ce que nous arrivons à distinguer constitue véritablement la structure du corps céleste que nous observons[70] ». La question de l'observation fiable et de la hiérarchie entre le professionnel et l'amateur était centrale dans la manière dont l'équation personnelle, en tant que problème à résoudre à l'intérieur de l'astronomie technique des observatoires d'élite, finit par être débattue par des observateurs amateurs et par des psychologues expérimentaux professionnels.

Imagination des amateurs et compétence des professionnels : un débat autour de la personnalité

La question de la professionnalisation de l'astronomie du XIX^e^ siècle a donné lieu à nombre d'études[71]. Dans les années 1890, cette question incluait la signification de l'équation personnelle. Le débat autour de l'astronomie amateure atteint des niveaux extrêmes pendant les travaux de la Commission sur l'instruction scientifique et le progrès de la science entre 1870 et 1875, notamment au regard de ses recommandations pour l'établissement de nouveaux observatoires d'astrophysique financés par l'État, suivant des critères européens, et détachés du contrôle d'Airy. La Société royale d'astronomie était divisée en 1873, et à nouveau en 1881, au sujet du soutien gouvernemental, du poids des amateurs et de l'autorité écrasante d'Airy[72]. Pour bien comprendre le rôle de l'équation personnelle, il est nécessaire de mettre en lumière certaines particularités de la culture astronomique à cette période. Les problèmes de perception étaient récurrents. Les luttes entre amateurs et professionnels au sujet de la qualité des grands télescopes dans les grands observatoires dépendaient de questions comme les images contradictoires des taches de Saturne[73]. Les travaux bien connus de Schiaparelli, Lowell et Maunder sur les canaux martiens mirent en évidence le problème des perceptions différentes des apparences planétaires[74]. C'est pour cette raison que les organisations qui s'affichaient comme amatrices prenaient soin de contrôler les pratiques d'observation de leurs membres. Les quantifications précises devinrent la marque d'appartenance de tels groupes. Leurs membres incluaient le capitaine William Noble, un

amateur du Sussex, secrétaire de la Société contre le financement de la recherche et premier président de la British Astronomical Association fondée en 1890 afin d'« offrir des moyens d'organisation au travail d'observation des astronomes amateurs[75] ». Noble fut également un acteur important de la querelle sur la taille des télescopes[76]. Il demanda aux membres de la British Astronomical Association d'enregistrer les circonstances des observations le plus précisément possible. La spécialisation était une nécessité. Arthur Downing, superintendant de l'*Almanach nautique*, déclara aux membres de l'association de Noble qu'ils devraient essayer d'inclure les équations personnelles dans leurs enregistrements[77].

Au final, les différences furent préservées entre le travail des grands observatoires – qu'ils soient amateurs ou vraiment professionnels – et celui des membres d'organisations telles que la British Astronomical Association et celles qui l'avaient précédée. Noble et Denning n'étaient pas seuls dans leur défense acharnée de la valeur des amateurs. Mais l'étendue de leurs accusations contre l'hégémonie professionnelle était inhabituelle. Noble fit de la spécialisation une vertu de l'amateur. Son discours inaugural reprenait l'attaque contre les grands télescopes et faisait amèrement allusion à l'opulence des grands observatoires. Mais il mentionnait également les nombreux domaines que les amateurs disciplinés pouvaient s'approprier. C'est pourquoi, lorsque l'amateur Stanley Williams fut attaqué pour ses déclarations sur l'apparence de la surface de Saturne en 1895, Noble s'empressa de le défendre. Williams était « un habile observateur et non un homme d'imagination ». En 1887, Agnes Clerke écrivit sur le même ton qu'« un œil sincère et une main fidèle » étaient la condition nécessaire et suffisante pour « un travail sérieux dans l'observation du ciel ». La distinction entre compétence et imagination était

cruciale pour toute considération sur le facteur personnel dans l'observation[78].

Dans les années 1890, ce débat fut mis en rapport avec les querelles au sujet du statut des observateurs amateurs, notamment sous l'influence des astronomes américains Simon Newcomb et Truman Safford. La dispute renvoyait aux conséquences sociales plus vastes de ce mouvement pour la précision des mesures. Newcomb était le plus fidèle disciple d'Airy et fut influent dans la transformation de l'astronomie d'État aux États-Unis. Il travailla à l'Observatoire naval américain, et fut directeur du Bureau de l'*Almanach nautique* à partir de 1877. Dans les années 1860, Newcomb planifia une réorganisation radicale afin de générer des tables planétaires exhaustives. Un tel projet supposait nécessairement de recommencer la réduction des données issues de Greenwich, Paris, et des travaux de Bessel à Königsberg[79]. Cela permettrait de produire de nouvelles données pour les constantes de réduction et les équations personnelles des observateurs en Amérique, en France, en Grande-Bretagne et en Allemagne. Le programme de Newcomb ne fut pas achevé avant le milieu des années 1890, lorsqu'on commença à discuter la standardisation de ces constantes. Mais dès 1867 Newcomb suggéra que l'équation personnelle variait avec la magnitude stellaire à cause des variations temporelles à l'intérieur desquelles les images stellaires pouvaient atteindre un réticule[80]. À la fin du XIX^{e} siècle, ce problème se fit pressant. La photographie semblait offrir une nouvelle approche technique au problème de l'équation personnelle. Des astronomes de Harvard et de Cambridge discutaient des avantages et des difficultés pour transformer le personnel et la pratique du travail d'observation afin de profiter de cette nouvelle possibilité[81]. Les discussions sur le travail amateur, les nouveaux liens institutionnels entre les

observatoires nationaux et le développement du domaine naissant de la psychologie expérimentale renvoyaient toutes au problème que Newcomb avait posé[82].

Newcomb proposa de publier des constantes de réduction avec les tables des étoiles fondamentales et de les faire adopter par le principal réseau d'observatoires lors d'une conférence à Paris de 1896 ; cette proposition fut vivement débattue l'année suivante. Certains se plaignirent du fait que, lors de cette conférence,

> ceux qui votaient n'étaient pas les personnes qui étaient principalement concernées [puisque] les personnes les plus touchées par une modification des constantes de l'*Almanach nautique* ne sont pas celles qui font les almanachs mais celles qui les utilisent.

Mais Newcomb reçut d'influents appuis de la part d'Arthur Downing, son homologue à Greenwich, important porte-parole pour l'observation contrôlée et pour le travail sur l'équation personnelle à l'intérieur de la British Astronomical Association[83]. Le plus proche allié anglais de Downing était Robert Ball, professeur d'astronomie à Cambridge. En 1897, Ball devint président de la Société royale d'astronomie[84]. Il commença par organiser une présentation devant la Société d'un article assez développé de son jeune assistant Arthur Hinks. Hinks s'intéressait aux questions de photographie astronomique et à ses applications pour le programme de Newcomb. Son article proposait d'examiner l'équation personnelle de Newcomb et ses variations par rapport à la magnitude stellaire[85]. Il fut présenté à une conférence en avril 1897 sur la photographie et la personnalité. Un amateur originaire d'Afrique du Sud, Alexander Roberts, affirma que la personnalité affectait de manière importante

l'évaluation de la luminosité de paires d'étoiles adjacentes. Roberts était persuadé qu'il s'agissait d'un « phénomène subjectif » et non d'un phénomène causé par ses instruments déficients ou par un problème de vision comme l'astigmatisme[86].

C'était ennuyeux, car cela supposait que le nombre de variables fausses allait augmenter et dépasser l'échelle standard de magnitude développée par Argelander à Bonn, puis appuyée par la puissante autorité de l'Union internationale d'astronomie dominée par les Allemands[87]. Downing déclara qu'à la conférence de Paris de l'année précédente les délégués avaient été incapables de se mettre d'accord pour savoir s'il fallait inclure cette correction dans les tables, mais « ils décidèrent de ne pas introduire une telle correction en raison de l'incertitude de sa valeur ». Downing demanda à Roberts de fournir une estimation quantitative du phénomène. Herbert Turner, professeur à la chaire savilienne d'astronomie d'Oxford, félicita Roberts comme amateur exemplaire :

> Si l'on demandait à un astronome professionnel de donner l'exemple d'un travail astronomique réel et totalement désintéressé, il ne pourrait choisir un meilleur cas que celui-ci : avoir consacré plusieurs années à l'observation d'un seul petit point, petit mais néanmoins vital pour la précision des observations[88].

Noble fut à son tour forcé de commenter le travail de Roberts. Il déclara qu'il devait y avoir « un effet physiologique à la source de ce phénomène, trouvant son origine dans l'œil ». Il remarqua habilement que de tels effets n'ont jamais reçu « aucune explication satisfaisante dans tous les livres d'astronomie que j'ai vus », et il

régala la Société d'anecdotes sur ses expériences d'observation de ballons volants[89].

Hinks avait entrepris ses travaux sous l'impulsion directe de Ball. En accord avec les techniques allemandes, Hinks compara les données du Catalogue de zones de Cambridge, achevé l'année précédente, et celles issues des observations de l'Union internationale. Il utilisa aussi l'échelle de magnitude d'Argelander, même si, comme il le souligna, outre les problèmes notés par Roberts et par Newcomb, « considérant les derniers développements des travaux, l'adoption ici des magnitudes de Berlin est regrettable ». En se fondant uniquement sur cette comparaison entre Berlin et Paris, Hinks était persuadé que Newcomb avait raison et que « les observations sont affectées par une équation personnelle qui dépend de la magnitude[90] ». Pourtant, Hinks avait d'autres données à sa disposition : une table comparative des positions de trente-six étoiles dans le Catalogue de Cambridge et les photographies prises à Oxford sous la supervision de Turner. Turner, vétéran de Cambridge et de Greenwich, était un vif défenseur, comme Hinks, de l'astrophotographie. Il « décida de voir ce qu'il était possible de faire pour éliminer ou déterminer la personnalité par une méthode photographique », utilisa les ressources de l'observatoire d'Oxford dans ce but, et apprit que Hinks mettait en place une stratégie similaire à Cambridge. Les photographies de Turner persuadèrent Hinks que ses premiers résultats étaient justes : l'astrophotographie allait permettre aux astronomes de contrôler l'équation personnelle avec une précision sans précédent. D'autres voix se joignirent à la sienne : « La photographie pourrait vraiment surpasser l'œil, même dans une opération si délicate. » La technique de Hinks était simple : si l'effet de Newcomb existait bien, alors l'erreur dans la coordonnée horizontale du centre de chaque plaque

photographique portant une image d'une étoile allait augmenter avec la magnitude, tandis que la variable équivalente pour l'étoile dans le Catalogue de Cambridge allait décroître. Hinks nota que la corrélation était détectable, et en vint à recommander une plus grande utilisation et diffusion de telles plaques [91].

Noble était à nouveau sceptique : « N'importe qui ayant observé autant de transits que moi sait que l'observation d'une petite étoile est beaucoup plus précise que celle d'une grande. » Il démontra au tableau noir que cela pouvait affecter le jugement dans le cas du transit des grandes étoiles, et trouva un appui auprès du vétéran de Greenwich William Ellis. Noble s'intéressait peu au programme proposé par Newcomb, Ball, Turner et Hinks. Il n'était pas impressionné par l'affirmation de Downing selon laquelle « les directeurs d'observatoire devraient se pencher sur ce problème et obtenir toutes les précisions possibles ». Ses interventions tournaient systématiquement autour des problèmes liés au caractère disciplinaire de l'astronomie, et de son intérêt pour la subjectivité de l'observation [92]. Noble obtint des renforts pour sa position lorsque la Société publia un autre article sur l'équation personnelle le mois suivant, article qui attira une attention publique considérable. Il était signé de Truman Safford, vétéran de l'*Almanach nautique* américain et astronome au Williams College dans le Massachusetts. L'article de Safford était une ultime tentative pour subordonner les questions qui avaient été débattues dans le domaine de l'astronomie à l'expertise des psychologues expérimentaux allemands, en particulier Wundt. Newcomb était directement visé. Safford écrivit qu'il n'était pas convaincu par l'analyse de Newcomb de l'équation personnelle de la magnitude :

> Il n'a pas fallu bien longtemps pour trouver une opinion différente de celle du professeur Newcomb dans les écrits des psychologues expérimentaux. Ces chercheurs, qui sont considérés comme d'éminents scientifiques dans leurs pays respectifs, se placent dans la tradition de Bessel et d'autres astronomes, et déclarent désormais que les astronomes feraient bien d'étudier leurs méthodes et leurs résultats. Une longue et minutieuse étude a été nécessaire pour vérifier le bien-fondé de leurs affirmations[93].

La minutieuse étude de Safford portait un dur coup aux pratiques astronomiques traditionnelles. Il s'appuyait sur les données de Bessel et des catalogues de Greenwich, qui incluaient les observateurs « compétents et expérimentés » et ceux qui ne l'étaient pas. Safford conclut que les méthodes traditionnelles n'étaient pas satisfaisantes. Mais il formula en outre des doutes préoccupants sur la fiabilité du nouveau chronomètre galvanique utilisé dans les observations. Il déclara que faire la moyenne des observations accomplies selon la méthode de l'œil et de l'oreille en donnant un poids égal à chaque observateur « pouvait provoquer de sérieuses erreurs » ; les chronographes n'étaient pas plus fiables pour résoudre l'équation personnelle que les vieilles méthodes de l'œil et de l'oreille ; et surtout, au regard des propositions du catalogue de Newcomb,

> aucun standard défini ne peut facilement être fixé sans mettre en place un procédé qui permette d'éliminer presque totalement ces différences ; en d'autres termes, aucun catalogue standard […] n'est possible, alors même que le besoin pour un tel catalogue se fait sentir.

La recommandation de Safford était simple : les expériences de réaction de Wundt étaient la clef pour résoudre les dilemmes de l'astronomie.

> On voit donc que les énigmes que Bessel avaient mises en lumière sans les résoudre complètement ont permis la découverte d'une solution plus complète, soutenue par le développement d'une nouvelle branche des sciences – la psychologie expérimentale – qui est désormais étudiée dans nombre des plus importantes universités du monde et considérée comme un nouveau domaine d'études à part entière ; il est maintenant possible d'associer jusqu'à un certain point l'étude de l'esprit humain et celle de l'univers physique, et de contribuer ainsi à la restauration de l'unité des études philosophiques[94].

L'appel véhément de Safford pour l'unification de la psychologie et de l'astronomie outrepassait les limites d'une discipline bien établie. Les commentateurs issus de l'élite remarquèrent d'un ton narquois que son article avait été « cité assez longuement » par « presque tous les magazines populaires ». Ils notèrent que l'article « ne semblait rien contenir de très neuf ni de très important ». Les méthodes astronomiques traditionnelles savaient s'arranger de la personnalité – les éditeurs de *The Observatory*, dont faisait partie Herbert Turner, mentionnèrent poliment qu'ils avaient noté quelques inadvertances dans l'article de Safford. Surtout, l'argument principal était que

> ce serait presque dommage si nous pouvions nous débarrasser de l'équation personnelle au moyen de la méthode

> photographique, comme l'espèrent certains d'entre nous, car cela nous priverait d'un lien entre l'astronome professionnel et le dilettante (c'est un terme plus policé que l'expression « public astronomique » ; j'aurais voulu y songer plus tôt) dans la construction d'un domaine à la fois important et accessible à tous[95].

Noble réagit immédiatement à cette déclaration. Il écrivit que le travail de Safford était important parce qu'il pointait un problème endémique et fréquent qui ne devait pas être résolu par une seule technologie privilégiée. Il accusa « la table de l'homme riche issu de l'observatoire public subventionné » de condescendance à l'égard de l'amateur, et affirma que le problème de la personnalité était beaucoup plus important que les questions alors débattues par Newcomb et ses partisans :

> J'oserais humblement supposer, dans mon ignorance, que cette question est au moins aussi importante que […] la mesure des plaques photographiques prises pour le Catalogue astrographique, qui semble être le clou de chaque rapport fourni par certains observatoires depuis quelque temps, mais dont une large proportion du simple « public astronomique » n'a strictement rien à cirer[96].

Les astronomes d'élite répondirent vivement à Noble. Il put se consoler par l'idée que « certains des plus savants astronomes sont des amateurs ». Turner et ses coéditeurs continuèrent à affirmer qu'il était nécessaire pour les membres du programme de Newcomb de diffuser leurs efforts d'une résolution astronomique du problème :

> C’est seulement parce que le fabricant du catalogue d’étoiles est subventionné par les deniers publics qu’il pense que de tels détails, dont certains font l’objet d’une controverse, devraient être soumis au jugement public avant leur adoption finale.

Cependant, Turner traça également une frontière nette entre l’astronomie amateure (« qui n’a de commun avec l’astronomie professionnelle que son nom ») et « l’étude du ciel » menée, de façon cruciale, par « des établissements subventionnés par l’État qui existent et perdurent au-delà d’une vie humaine ». Les hommes comme Noble étaient louables, mais secondaires. Et même guidées par les observatoires, les pratiques amateures pouvaient être erronées : la controverse de l’équation personnelle était censée témoigner de cette vérité[97]. Noble nuança son attaque le mois suivant, mais Safford intervint dans le débat qui s’envenimait et réaffirma son attachement à une alliance entre astronomes et psychologues expérimentaux. Il s’appuyait sur de grandes revues philosophiques, telles que *Mind* et *Philosophische Studien*, la revue de Wundt. Il mit en garde les astronomes et leur reprocha de

> ne pas avoir réussi à saisir avec une clarté suffisante la différence essentielle entre le processus psychique de l’observation par la méthode de l’œil et de l’oreille, et la méthode chronographique[98].

Safford assurait que les expériences sur le temps de réaction menées par Wundt et ses étudiants Max Friedrich (1880) et Ludwig Lange (1888) apportaient une solution à ce problème. Lange et son maître déclaraient que ces durées étaient plus grandes quand on

prêtait attention au stimulus sensoriel (tel que le mouvement de l'étoile ou le son de la cloche), plutôt qu'à la réaction musculaire (telle que la pression du bouton galvanique). Les disciples de Wundt utilisaient un procédé de soustraction pour suggérer que cette différence était due au temps nécessaire pour l'« aperception » ; Safford supposait bien entendu que de tels phénomènes étaient pertinents pour la chronométrie galvanique[99]. En l'espace d'une décennie, ces procédés furent attaqués par Oswald Külpe, un étudiant de Wundt, qui contesta l'efficacité des méthodes de soustraction, puisque les états mentaux dans les situations d'attention faisant appel aux sens d'une part, et aux muscles d'autre part, étaient assez différents[100]. Aucune technique astronomique notable ne découla des suggestions de Safford. Bien au contraire, un nouvel engouement pour les techniques d'astrophotographie ainsi que l'immense prestige du programme de Newcomb désamorcèrent en grande partie l'attaque de Safford. Boring adoptera ensuite la même ligne argumentative que Safford. Selon lui, « Bessel fit en réalité de ce problème un problème psychologique », et la personnalité était « destinée à devenir la propriété de la nouvelle psychologie physiologique[101] ». Comme nous l'avons vu, les contemporains de Safford et de Wundt étaient loin d'imaginer que le débat aurait une telle fortune. Les directeurs professionnels comme Turner et Newcomb considéraient le problème comme faisant légitimement partie du programme de leurs observatoires. Noble l'interpréta comme une opportunité d'aiguillonner les grandes figures de l'astronomie d'État. Le conflit d'intérêts témoigne ici de la valeur hautement contextuelle et située de la quantification et de la précision. Il permet de mettre en doute le présupposé selon lequel de telles évolutions apparaissent évidentes pour les membres de communautés scientifiques extrêmement différenciées.

Conclusion : « Les gardiens de nos facultés »

Lorsque Wundt et Donders commencèrent à étudier l'équation personnelle comme un problème de temps de la réaction et de la complication, ils ne choisirent pas un échec embarrassant de l'astronomie du XIX^e^ siècle. Ils utilisaient les instruments et les données de la discipline la plus sûre d'elle-même à l'époque. Discipline incarnée par la chronométrie galvanique de précision des observatoires qui avaient mécanisé l'observation et l'avait soumise à une surveillance minutieuse. La technologie matérielle de contrôle du temps et la technologie sociale de l'atelier astronomique offraient aux psychologues d'excellents modèles pour l'étude des individus. Les sujets intéressés par l'astronomie étaient un type particulier d'individus, engagés dans des relations sociales spécifiques avec leurs supérieurs. De nombreuses caractéristiques de l'équation personnelle sont liées à cet individualisme des praticiens de l'astronomie. Avant l'avènement des chronoscopes et des temps de réaction dans les laboratoires de psychologie, l'astronomie de précision constituait déjà le modèle des disciplines de l'individu. La « physique sociale » du directeur d'observatoire Quetelet et son concept de l'« homme moyen » s'appuyaient principalement sur une double métaphore : les statistiques considérées comme une mécanique céleste, et les variations entre individus comme variations entre observations. Cela malgré les dissemblances frappantes entre le traitement des individus en astronomie de précision, dans laquelle de nombreuses observations d'un objet censé être unique étaient faites, et les projets de Quetelet et ses disciples parmi les statisticiens de Grande-Bretagne, où des observations uniques de nombreux individus étaient analysées[102].

Augustin Cournot, critique important de nombreux présupposés des statisticiens, ajouta un appendice au traité astronomique de Herschel au sujet du modèle de ces nouvelles sciences du social :

> De même que l'astronomie d'observation est le modèle pour les sciences de l'observation, que l'astronomie théorique est le modèle des théories scientifiques, de même les statistiques stellaires devront un jour servir de modèle pour toutes les autres approches[103].

Cette imagerie astronomique était un lieu commun parmi les économistes politiques aussi bien que les statisticiens. Les techniques de précision dans la détection des erreurs, techniques développées par Gauss, Laplace, Bessel ou Airy, s'associaient à une image de l'astronomie comme discipline capable de prendre en considération les sujets individuels et leurs différences[104].

Cette histoire suppose une réévaluation du rôle de la quantification dans l'observatoire autant que dans le laboratoire de psychologie. Wundt trouva dans la technologie de l'observatoire les ressources dont il avait besoin pour mesurer la différence individuelle. Les directeurs d'observatoires astronomiques mirent en rapport la mesure du temps et la surveillance des performances individuelles pour les tâches simples[105]. D'importantes connexions existaient entre le contrôle wundtien du comportement individuel et les préoccupations du libéralisme conservateur à l'époque wilhelmienne. Wundt visait une « conquête de l'individualisme » qui reconnaîtrait « la valeur de la personnalité individuelle sans pour autant abandonner la valeur d'indépendance et la communauté morale[106] ». La technologie de la personnalité astronomique mettait en rapport une communauté morale disciplinée et les capacités

individuelles des sujets. D'autres connexions pourraient être mises en lumière dans la mise en place des technologies expérimentales de Wundt au laboratoire de physiologie de Berlin sous la direction de Du Bois-Reymond, où ses travaux de la fin des années 1850 utilisèrent pour la première fois des mesures de précision des réactions musculaires, et où il fit précocement son éducation politique[107]. La mesure n'a de sens que comme élément d'un modèle de pratique au laboratoire. Des directeurs différents – Airy, Du Bois-Reymond, Wundt – génèrent et entretiennent des politiques différentes. L'économie politique des grands observatoires du XIX^e^ siècle témoigne de l'origine matérielle et sociale d'une série de valeurs qui ont eu un grand poids. Le réseau d'observatoires a permis d'établir la mesure constante du temps et des positions. Simultanément, il a permis de créer des technologies puissantes pour discipliner l'individu. Boring écrivait que « le raffinement est sans limites dans les mesures scientifiques ». Ce raffinement trouve son origine tout autant dans les travaux de Josiah Wedgwood ou d'Andrew Ure, partisans des mesures de précision, de la discipline industrielle, du « pointage », des « feuilles de présence », comme c'était le cas à Greenwich ou à Königsberg. Les réseaux de l'atelier, du laboratoire et de l'observatoire devinrent indissociables. Les observatoires s'appuyaient de plus en plus sur des instruments de précision et les ingénieurs disciplinaient leurs habitudes de travail. Ils étaient les « gardiens de nos facultés / et les serviteurs de nos travaux, hommes vigilants / et habiles à profiter du temps » de Wordsworth[108]. L'argument de ce chapitre reposait sur la spécificité de ce raffinement et sur la discipline qui l'a rendu possible.

CHAPITRE 7

Une manufacture d'ohms. La métrologie de la fin de l'ère victorienne et son instrumentation

> Les étalons originaux de mesure de la résistance de la British Association pour l'avancement des sciences sont au laboratoire Cavendish […] Lorsque le lieu sera en ordre de marche, j'espère être capable de vérifier n'importe quel étalon déjà élaboré que je reçois, mais je n'attends pas ou ne pense pas souhaitable qu'une manufacture d'« ohms » soit établie dans ce bâtiment.
>
> James Clerk Maxwell, 14 janvier 1875.

On le sait, une grande part du travail scientifique consiste à transformer des expériences en instruments obéissants. Des expériences qui suscitent toujours des interprétations ouvertes sont ainsi transformées en outils aux fonctions apparemment simples et univoques. Des études récentes sur le laboratoire comme lieu de travail révèlent que les cultures locales des institutions de savoir sont cruciales pour permettre l'émergence de faits établis et d'instruments robustes à partir d'expérimentations fragiles. Dans les laboratoires anglais du XVII^e^ siècle, les codes aristocratiques de l'honneur et de la confiance gouvernaient la capacité des philosophes de la nature à faire de l'expérience et du témoignage

des descriptions fiables de l'ordre naturel, tandis que les technologies des veilleurs de machines au début de l'industrialisation furent développées pour faire que la philosophie expérimentale s'accorde aux mœurs sociales baroques. De même, dans les observatoires de l'âge victorien, les savants furent encadrés par une discipline quasi manufacturière pour garantir leur observation des étoiles. Toute une nouvelle machinerie, comme les horloges galvaniques, les enregistreurs graphiques et les relais télégraphiques, fut introduite entre l'oculaire et l'observateur pour constituer un assemblage capable de garantir la validité d'une expérience astronomique[1]. De tels récits mettent en évidence l'importance de la localisation dans la pratique scientifique. Dans ces exemples, les expérimentations et les observations sont analysées dans les termes mêmes qui caractérisent ces lieux de travail. Mais si l'établissement des faits dépend étroitement de ces conditions locales, comment expliquer alors qu'ils fonctionnent ailleurs, dans d'autres laboratoires ? Pour réaliser cette opération, pour aller au-delà du cadre local d'un laboratoire particulier, ces pratiques doivent être distribuées dans des contextes de production de savoirs démultipliés. De là, l'idée que les réseaux scientifiques sont construits pour diffuser des instruments et des valeurs qui font que le monde se met à la mesure de la science. La métrologie, que l'on peut définir comme l'établissement des unités étalons pour les quantités naturelles, s'affirme ainsi comme la principale entreprise scientifique qui permet la domination du monde. Si la métrologie compte encore aujourd'hui, c'est en raison, on l'oublie, de cette relation entre l'intérieur du laboratoire dans lequel les valeurs sont établies et reproduites, et les réseaux qui vascularisent et unifient les laboratoires entre eux et dans lesquels les valeurs sont traduites et transformées[2].

Pour cette raison, la production des normes de mesure, autrement dit l'étalonnage, quitte les rivages de l'anecdotique et devient un sujet digne d'intérêt pour les historiens des sciences. Les valeurs physiques que le laboratoire fixe sont toujours soutenues par les valeurs sociales que le laboratoire propose[3]. On a rarement accordé à la métrologie une importance historique. Cependant, dans le contexte de la Grande-Bretagne victorienne, la diffusion des standards et des valeurs fut le moyen par lequel les physiciens comprirent qu'ils pouvaient articuler leur travail scientifique et les projets économiques et techniques qui essaimaient dans toute la société. Les dispositifs instrumentaux permirent ainsi aux travailleurs d'incorporer les valeurs qui comptaient dans leur culture et dans le cadre des routines de la vie de laboratoire. La condescendance intellectualiste a détourné notre attention de ces pratiques du quotidien, de leur personnel technique et du labeur silencieux qui fait que les résultats comptent bien au-delà des murs du laboratoire. D'une manière sans précédent, les savants de la fin de la période victorienne ont articulé les réseaux dans lesquels les machines étalons, les valeurs, les pratiques furent distribuées mondialement par l'impérialisme et la production de masse. On peut dire que la métrologie dominait cet univers. Les savants virent une relation immédiate entre les normes impériales et l'intégrité de leur travail de laboratoire. Leurs plus grandes réussites, telles que l'électrotechnologie, attestent du contrôle qu'ils exerçaient tout au long des câbles dont dépendait l'intégrité de l'Empire. Les nouveaux laboratoires de la physique britannique des années 1860 à 1880 furent ainsi partie prenante d'un projet de communication impériale, à travers le travail des administrateurs à l'occasion de la campagne de la British Association pour l'avancement des sciences en vue d'établir des étalons électromagnétiques, mais aussi à travers

la formation des experts télégraphistes, des instructeurs et des électrotechniciens[4].

La métrologie de Cambridge et le système du télégraphe

À Cambridge, où le laboratoire Cavendish de physique expérimentale fut construit entre 1871 et 1874, certains membres militèrent pour la combinaison de l'électrotechnologie et de la pédagogie libérale. Les succès rencontrés par le laboratoire de physique de William Thomson à l'université de Glasgow indiquaient comment les produits d'un laboratoire universitaire comparable pouvaient se diffuser dans l'Empire tout entier. À l'automne 1870, Kalley Miller, un vétéran du système de Glasgow, raconta aux savants de Cambridge que « le succès du câble transatlantique est dans une grande mesure le résultat d'années de patient travail dans le laboratoire de Glasgow ». Il devait faire la démonstration qu'une certaine clôture du monde du laboratoire pouvait s'accorder avec le milieu élitiste de Cambridge, tout en permettant des liens vitaux entre les dirigeants au sommet de l'électromagnétisme victorien, la thermodynamique et la pratique de la métrologie. Miller considérait la standardisation et le test des instruments comme étant d'égale importance :

> La détermination de la longueur d'onde de la lumière, de l'équivalent mécanique de la chaleur et de la relation entre les unités de l'électrostatique et les unités électromagnétiques est, parmi d'autres points pratiques, d'une importance vitale,

> comme on a pu l'expérimenter avec succès. Je dois ajouter que les excellents électromètres réalisés par les fabricants de Glasgow doivent beaucoup de leur crédit au fait que chacun a été soigneusement testé et réglé dans le laboratoire de l'université avant d'être envoyé en service[5].

En une décennie, le laboratoire Cavendish devint lui-même un centre de la métrologie electrotechnique victorienne, certifiant les électromètres et les boîtes de résistance des câbles, de l'industrie et du réseau naissant des laboratoires de physique. En mars 1874, James Clerk Maxwell, le nouveau professeur du Cavendish, commandait « un ou plusieurs étalons originaux d'ohms pour vérifier en outre celui de l'ohm commercial ». Certaines entreprises comme la société d'instruments des Frères Elliot demandèrent au Cavendish de vérifier leurs boîtes de résistance. Les pratiques d'enseignement évoluèrent aussi dans le sillage des pratiques de recherche, mais ce ne fut pas un processus aisé. En janvier 1875, dans une lettre citée en tête de ce chapitre, Maxwell établissait que lorsque le laboratoire « sera en ordre de marche, j'espère être capable de vérifier n'importe quel étalon déjà élaboré que je reçois ». Mais il ajoutait dans un saisissant avertissement : « Je n'attends pas ou ne pense pas souhaitable qu'une manufacture d'"ohms" soit établie dans ce bâtiment[6]. » Ainsi, si Maxwell projetait un vaste programme métrologique pour le nouveau laboratoire Cavendish, il avait soin aussi de le distinguer du fonctionnement d'une usine.

Maxwell revint sur ce point dans sa leçon inaugurale d'octobre 1871 : parce que

> les expérimentations modernes consistent principalement en mesures, expliquait-il, beaucoup en étaient venus à penser qu'en quelques années toutes les grandes constantes de la physique seraient évaluées approximativement, et que la seule occupation qui serait laissée aux hommes de science serait de continuer ces mesures jusqu'à des décimales de plus en plus précises.

Ce constat a souvent été cité comme s'il reflétait la vision personnelle de Maxwell. Mais, à la vérité, il a reconnu que cette vue était doublement fausse. Fausse d'abord parce que la physique avait bien d'autres tâches que les seules mesures exactes, et fausse ensuite parce que cette image aurait fait de l'université un lieu inapproprié pour le laboratoire d'un genre nouveau qu'il souhaitait mettre en œuvre :

> Notre laboratoire sera peut-être célébré comme le lieu d'un travail consciencieux et d'un savoir-faire consommé, mais il sera considéré de ce fait comme hors de l'université, alors qu'il devrait plutôt être classé parmi les autres grands ateliers de notre pays.

En 1882 déjà, sous le règne de Lord Rayleigh, le laboratoire Cavendish rapportait un bon revenu grâce aux droits payés sur la vérification et le test des étalons électromagnétiques. Au même moment, Rayleigh insistait quant à lui sur la fructueuse « division du travail » entre expérimentateurs et mathématiciens[7]. Cette division du travail pesait sur la possibilité d'établir un véritable laboratoire d'étalons. La création de ces étalons présidait aux rapports entre le Cavendish et ses diverses circonscriptions.

Le but de l'histoire qui suit est d'explorer le cadre culturel dans lequel ces modèles de travail et de savoir-faire furent établis et d'utiliser ces facteurs culturels pour analyser la relation entre le laboratoire Cavendish et le monde extérieur. De nombreuses institutions métrologiques ont vu le jour à l'époque victorienne : le laboratoire Excise, l'observatoire de Kew, l'Observatoire royal en sont des exemples. Mais à Cambridge, chose étonnante, un laboratoire de mesure exacte d'étalons fut installé à l'intérieur même de l'institution universitaire existante. En étudiant ce cas, l'historien peut entrevoir les ressources qui furent nécessaires pour mettre en place un tel site de calcul et de veille et pour analyser les conflits sociaux que la métrologie suscita. Pas un savant victorien ne pouvait considérer la métrologie avec condescendance. Son discours public était profondément moralisateur. Une culture convaincue de la nécessité de posséder des données exactes et de mettre en place une surveillance sévère afin d'assurer le contrôle social envisageait de la même manière les mesures de précision comme une norme éthique. À la fin de la période victorienne, on a souvent relevé que

> la diligence, la ponctualité, les bons comportements étaient récompensés. Le temps mesuré par les machines, et non plus celui dicté par le Soleil et les saisons, devait imposer au peuple britannique une nouvelle discipline[8].

La standardisation était la preuve de l'intégrité du système et soulignait une continuité dans la gestion morale et physique de l'espace et du temps. Edwin Chadwick pouvait conclure ainsi son célèbre *Report on the Sanitary Condition of the Labouring Classes* (1842) avec un éloge

> des avantages que procurait l'uniformité dans la législation et dans la machinerie de l'exécutif, et des avantages de faire les choses de la même manière (en choisissant la meilleure) et d'appeler les mêmes officiers, les mêmes rapports et les mêmes choses par les mêmes noms.

Le projet de Charles Babbage de tout embrasser dans sa *Table of the Constants of Nature and Art* peut être considéré comme un monument dressé à la gloire de cette posture morale. Même l'expression « constante de la nature », néologisme que Babbage utilisa habilement, était la clef de voûte d'une encyclopédie collective qui contenait « tous les faits qui peuvent être exprimés par des nombres dans divers sciences et arts ». À suivre Babbage, ce projet « faisait entrer en action une cause permanente des progrès de la vérité, continuellement conduite à une détermination plus précise des faits établis et de la mesure de nouveaux faits [9] ».

Babbage participa en outre au succès de la notion si centrale de « mesure absolue ». Le devenir des câbles sous-marins illustre bien son importance. William Thomson montra que la performance du télégraphe dépendait d'une connaissance précise de la résistance par unité de longueur du câble [10]. Cette information devait être exprimée en unités que les fabricants et les télégraphistes pouvaient utiliser avec sûreté. L'échec du premier câble atlantique rappela combien il était difficile d'établir cette fiabilité. À l'été 1871, Thomson redit à la British Association que les intérêts matériels combinés de « ceux qui mirent en danger et perdirent leur argent dans le premier télégraphe atlantique » et du comité pour l'établissement des étalons de la British Association mis en place en 1861 pour « fournir à leurs électriciens des méthodes pour le mesurage absolu », avaient assuré la profitabilité des compagnies de câbles, encouragé la culture « du

mesurage précis dans tous les laboratoires scientifiques du monde », et avaient engagé « une série de recherches qui avaient désormais des ramifications dans les régions les plus hautes et l'éther le plus subtil de la philosophie naturelle[11] ». L'intégrité de l'éther, de l'électromagnétisme, de ces câbles et de l'Empire reposait entièrement sur la solidité de ces étalons. De nombreux physiciens évoquèrent la même chose dans de nombreux tomes consacrés aux systèmes des étalons[12]. C'est ainsi que le lien avec l'intégrité impériale fut consolidé : la diffusion de ces systèmes d'unité et d'instruments faisait des laboratoires de Glasgow et de Cavendish des centres de calcul pour le monde de l'électrotechnologie, discréditant les entreprises rivales.

Le programme des standards de la British Association (BA)

La commission pour l'établissement des standards au sein de la British Association fut un forum important de ce développement. Elle fut créée en 1861 à la suite des rapports rivaux établis par les Frères Siemens et par Latimer Clark et Charles Bright sur les besoins d'un système d'unités dans l'industrie du câble. Les Siemens étaient engagés dans la réparation des câbles et dans leur maintenance, pour lesquels ils utilisaient « des tests électriques stricts que le gouvernement a chargé les créateurs d'appliquer ». Ils utilisaient la formule spécifique de Thomson-Siemens pour l'induction spécifique et la toute nouvelle unité de résistance des Siemens, fondée sur la résistance d'une longueur arbitraire de mercure. Des travailleurs comme Clark et Bright, sensibilisés aux « demandes pratiques des

télégraphistes », exigèrent aussi un système adéquat[13]. Mais en l'occurrence, la commission fut constituée d'un groupe professoral qui commandita la campagne pour les unités fiables. Beaucoup de ces nouveaux laboratoires de physique étaient administrés par des membres de la commission, comme Maxwell par exemple. Dans la préface de son *Traité d'électricité et de magnétisme*, achevé en février 1873, Maxwell nota que l'électrotechnologie donnait « à des mesures électriques exactes une valeur commerciale » et permettait en outre « aux électriciens de faire des instruments un usage bien autrement étendu que celui pratiqué ordinairement par le laboratoire[14] ». En préambule à cette campagne, Maxwell affirma à la British Association qu'

> entre la simple connaissance de l'histoire d'une découverte scientifique par chaque étudiant et la familiarité pratique que les ouvriers entretiennent avec les opérations particulières qui peuvent être seulement communiquées aux autres par imitation directe, il nous manque un ensemble de règles, ou plutôt de principes, par lesquels les lois, conservées dans leurs formes abstraites, peuvent être appliquées afin d'estimer les forces requises pour rendre effectif n'importe quel résultat pratique donné.

Il insistait sur le fait que la formation et les standards devaient être associés pour survivre : « Lorsque beaucoup de gens agissent ensemble, il est nécessaire qu'ils aient une compréhension commune des mesures qu'ils doivent employer[15]. » Tout au long des années 1860, Maxwell s'efforça de fabriquer un étalon de résistance fiable. Ses collaborateurs comptaient parmi eux le télégraphiste Fleeming Jenkin et le fabricant d'instruments Charles Hockin, associé d'un

collège à Cambridge. Des liens furent forgés avec d'autres membres de la commission de la British Association, mais aussi avec des entrepreneurs, en particulier les Frères Elliot. Le problème essentiel était de savoir si les standards fabriqués dans les laboratoires de Londres pouvaient être disséminés à travers les réseaux de câbles et, par suite, de savoir si les étalons produits dans les laboratoires pouvaient correspondre à ceux des bateaux déposant les câbles ou à ceux des stations de télégraphe.

Un système unifié et réalisable devait satisfaire à toutes ces contraintes. Un premier effort pour fabriquer ce système qui coordonnerait la recherche internationale fut celui de Wilhelm Weber, développé à Göttingen comme partie prenante de la croisade géomagnétique des années 1830 et 1840, publiée en 1851. Les unités de Weber étaient absolues et indépendantes d'un matériau particulier, mais elles étaient pour cette raison même abstraites et difficiles à reproduire. Les Britanniques étaient d'accord sur le fait que la « permanence absolue » était le prérequis d'une unité de résistance. Cependant, ils s'opposaient à Weber au sujet de la relation entre le travail, la force et l'action électromagnétique. Thomson considérait que tout système d'unités doit reposer sur le travail réalisé lorsqu'un courant unité circule à travers une résistance unité (avec une différence de potentiel unité). C'est ainsi qu'ils cherchèrent à réformer le système de Weber et à écarter le système conventionnel des Siemens. Werner Siemens contre-attaqua. Il calcula que « les cas dans lesquels l'expression de la mesure absolue est un avantage apparaissent rarement et seulement dans les exercices purement scientifiques ». Défendant son usage du standard des colonnes de mercure, le grand électrotechnicien allemand avançait que « toute autre définition non seulement alourdirait inutilement les calculs qui apparaissent dans la vie moderne, mais

obscurcirait par ailleurs notre conception de la mesure ». La commission de la British Association réclamait que les réseaux de câbles fussent libérés au plus vite du contrôle allemand. Leur solution fut de mettre en œuvre un standard absolument permanent, assemblé dans une télégraphie internationale, et ensuite de changer la pratique télégraphique pour l'exposer comme un succès du savoir-faire électromagnétique britannique[16].

L'équipe de Maxwell utilisa une bobine circulaire tournant autour de son axe vertical dans le champ géomagnétique pour produire une déclinaison constante sur l'aiguille du galvanomètre en son centre. L'angle de la déclinaison devait dépendre du diamètre de la bobine, de sa vitesse de rotation et de sa résistance. La résistance pouvait dès lors être établie en mesurant les trois autres paramètres. Cela impliquait des exigences très grandes en matière de savoir-faire expérimental et de mécanique de précision[17]. Le but de la mobilisation des ressources télégraphiques et quantitatives était de fabriquer un cylindre dont la résistance fût aussi proche que possible de l'unité de résistance mise en place dans le système électromagnétique, à savoir 10^7 m/sec. Maxwell dut défendre ce projet contre Siemens. Selon William Thomson, le succès des Allemands dans l'établissement d'une longueur précise de mercure « a une incidence sur la question du meilleur matériel à utiliser pour la construction et la reproduction de l'étalon », mais « laisse presque complètement de côté celle de sa magnitude[18] ». Cette bobine devint très vite l'emblème et l'instrument qui permirent aux étalons de mesure de se diffuser. La difficulté était de savoir si cela pouvait être réalisé sans perturber les autres étalons. Le groupe de Maxwell écarta Siemens parce que son système basé à Berlin n'incorporait pas les relations de travail et d'énergie qu'ils considéraient comme essentielles au programme de fabrication des étalons. Le réseau

évincerait la supériorité de la physique britannique à la seule condition que les étalons soient reproductibles. Le choix entre reproductibilité et valeurs absolues était un choix entre les normes du laboratoire de physique et celles des réseaux de câbles. En 1864, Maxwell, Jenkin et Hockin répétèrent leurs expériences de rotation à King's College à Londres en changeant la plupart des éléments importants, en particulier la vitesse de rotation et le fil de bobinage. Des bobines non certifiées avaient déjà commencé à être fabriquées par les Frères Elliot et par Siemens pour être distribuées au télégraphe indien et ailleurs : « Alors qu'on a besoin de façon urgente d'étalons pratiques de résistance […] des systèmes défectueux s'enracinent jour après jour. » En mars 1865, Maxwell indiquait ainsi au physicien d'Édimbourg Peter Guthrie Tait : « La véritable origine de la résistance électrique comme définie par les unités de mesure de la British Association » était devenue « Fleeming Jenkin, Esq., au prix de 2 livres et 10 shillings la boîte[19] ». Mais ce qui fut mis en boîte n'était pas l'unité absolue. Siemens souligna que le caractère artificiel des associations de boîtes d'unités, qui variaient entre elles, et s'écartaient notablement de toute notion d'absolu, témoignait de l'échec des étalons de laboratoire du groupe de Maxwell à Londres. Ils devaient trouver une solution pour faire que leurs expériences se transforment en instruments[20].

Jenkin aborda cette énigme dans une série de conférences données au printemps 1866 à la Society of Arts. Il prit la parole à la fois en tant que collaborateur de Maxwell et comme vétéran d'un programme de recherche entrepris depuis sept ans avec le groupe de Thomson basé à Glasgow sur les brevets concernant l'amélioration de la communication télégraphique. Ce fut un moment de prise de risque pour l'industrie télégraphique. La confiance dans la future

mise en place du deuxième câble atlantique fut remise en question. Jenkin estimait qu'il pouvait montrer comment l'étalon de la British Association pouvait être fabriqué pour fonctionner aussi bien en mer que sur un bateau. Ces unités furent un bon moyen de trouver les malfaçons des câbles : à partir du moment où le testeur connaissait la résistance par unité de longueur de la ligne, il pouvait localiser n'importe quelle coupure en comparant l'unité de résistance potentielle avec celle du câble défectueux. Mais cette opération impliquait de savoir si les câbles étaient faits d'un fil fiable et standardisé, et donc de savoir si les valeurs produites par le laboratoire avaient été transférées aux travaux de câblage[21]. Jenkin annonçait une nouvelle ère, développée avec Thomson, utilisant les nouvelles boîtes de la British Association et les galvanomètres et électromètres de Glasgow. La continuité entre les savoir-faire du laboratoire et ceux du télégraphe pouvait être assurée par de nouveaux types de formation dans ces électrotechnologies. Comme le concédait Jenkin :

> Sans aucun doute, le test n'est pas d'une nature assez simple pour être exécuté par un employé de bureau ordinaire, mais il est intéressant de savoir qu'un test existe permettant de résoudre avec une certitude mathématique un problème qui a jusqu'ici déconcerté les électriciens.

Le même message fut adressé cette année-là dans le rapport au comité de la British Association dont Jenkin était le secrétaire. Les raisons du succès supposé du nouveau système à la fois absolu et « cohérent » s'étaient déplacées de la science pure à la pratique réelle :

> Si la résistance avait été seulement mesurée en pratique, l'avantage du système cohérent serait resté réservé aux seuls hommes de science ; mais maintenant que les mesures de capacité, de courant et de force électromotrice sont devenues communes, les avantages pratiques du système intégré sont considérables.

Le rapport dressait la liste des agences et des électriciens qui utilisaient à la fois la nouvelle méthode et l'étalon. On y trouvait l'Inde, l'Australie, une série de grandes sociétés et les ténors de la recherche électromagnétique britannique[22].

Le pari de Jenkin fut payant, comme le fut celui de la Compagnie du télégraphe atlantique qui traita avec lui et ses collègues. La compagnie accepta l'accord suivant : si on leur proposait des instruments qui semblaient meilleurs que les galvanomètres, les clefs, les électromètres et les dispositifs de test conçus par l'équipe, le groupe de Jenkin obtiendrait une année supplémentaire pour développer leurs propres instruments améliorés. En liant le statut des unités de l'Association avec la réputation du câble, Jenkin et Thomson gardaient l'avantage. Le 8 septembre 1866, peu après la réunion de la British Association, le grand câble transatlantique avait été sécurisé entre Valentia et Newfoundland. Les industriels britanniques pouvaient maintenant prétendre dominer le système sur le plan international[23]. Le succès du câble fut clairement associé à la connaissance électromagnétique, tandis que la fiabilité du tandem laboratoire-bateau fut perçue comme vitale. Tout comme les promoteurs du premier, le câble défectueux de 1858 avait violé l'intégrité théorique en ignorant les principes de l'électromagnétisme de Thomson. Aussi la justification de l'intégrité du câble de 1866 reposait-elle sur l'intégrité du système des

instruments et des valeurs qui le soutenait. Il était garanti à la fois par les boîtes de résistance conçues par Maxwell et Jenkin et réalisées par les Frères Elliot, par le travail des ateliers et des laboratoires de Londres, Birkenhead et Glasgow, mais aussi par la validité scientifique de l'association électromagnétique entre résistance, courant et travail. Jenkin répondit que le crédit de ses instruments reposait sur « les câbles sous-marins, dans lesquels l'ingénieur, à travers l'examen et la fabrication, trouverait bientôt les bénéfices d'un savoir fondé sur les lois électriques[24] ».

Les événements des années 1860 résultèrent d'une combinaison provisoire entre les valeurs du laboratoire et celles du commerce. Vers la fin de la décennie, libéré des rigueurs de sa chaire de King's College à Londres, Maxwell retravailla le projet des étalons comme une partie de sa physique électromagnétique. Les ressources expérimentales de Maxwell furent cependant diminuées parce que Jenkin et les autres furent dans le même temps recrutés par l'équipe du câble atlantique. Mais dès que l'ingénieur Hockin, qui travaillait pour les Frères Elliot, fut libéré de ses responsabilités dans la gestion du câble, il put venir à la rescousse. Maxwell raconte qu'il « pouvait tout faire, si ce n'est l'observation de l'équilibre que j'entreprenais moi-même ». À travers l'entreprise des Frères Elliot, Maxwell avait accès aux condensateurs et aux résistances de la British Association. L'ingénieur de la firme, Becker, dessina ses nouvelles balances électriques, et Maxwell put commander occasionnellement au laboratoire de J.P. Gassiot à Londres ses grandes batteries[25]. Les essais qu'il y réalisa avaient pour but de confirmer les valeurs relatives des unités de l'électrostatique et de l'électromagnétique, une tâche mise en place au milieu des années 1860 par la British Association et esquissée dans sa célèbre « théorie dynamique » de 1865, expliquant que ces valeurs relatives témoignaient du lien

entre lumière et radiation électromagnétique. C'est un exemple de la manière dont les problèmes « purement scientifiques » pouvaient être commercialement cruciaux. La mise en place du dispositif impliquait d'équilibrer la force développée entre les deux disques chargés à l'opposé, et la répulsion entre deux bobines traversées de courant. Maxwell et Hockin comprirent que la précision de l'instrumentation pourrait permettre une bonne estimation du rapport entre les deux unités et, de là, améliorer la valeur du programme électromagnétique de Maxwell[26].

Maxwell savait que

> l'importance de la détermination du rapport dans tous les cas de figure où les actions électrostatiques et électromagnétiques étaient combinées, était évidente. De tels cas apparaissent au quotidien dans le travail des câbles sous-marins du télégraphe, dans les bobines d'induction et dans de nombreux autres agencements artificiels.

Ce problème était pour le comité de la British Association une pure question de convention. Mais Maxwell insistait aussi sur le fait qu'

> une connaissance de ce rapport est encore, je pense, d'une plus grande importance scientifique si l'on considère que la vitesse de propagation de la perturbation électromagnétique à travers le médium diélectrique dépend de ce rapport et par conséquent, selon mes calculs, est exprimée par le même nombre[27].

Il fut décidé que la plausibilité de l'affirmation selon laquelle la lumière était reliée à la radiation électromagnétique dépendait du programme des étalons. Mais, en 1868, Maxwell trouva une très grande différence entre son calcul de la vitesse, V, et celui de la lumière. Il demanda à Hockin de chercher le moyen d'augmenter la précision[28]. Maxwell réussit finalement à modifier la mesure de V en supprimant presque un tiers de son parcours, « parce que le micromètre avait été touché durant l'observation de l'équilibre », et en blâmant invariablement la valeur de l'unité de résistance de la British Association. Évoquant le projet des années 1860, Maxwell se rappelait de

> la chasse aux sources de divergence dans les mesures, aux petits problèmes intervenus dans le fonctionnement des nouveaux appareils, mais aussi aux difficultés mathématiques, sans parler de la difficulté physique pour conserver l'esprit de précision à la fin de longs et décevants jours de labeur.

Face au besoin de batteries plus grandes, de meilleures boîtes de résistance et de meilleures forces de travail, sa recherche stagnait. Il ne put la relancer avant son départ pour Cambridge en 1871[29].

Le laboratoire Cavendish en institution métrologique

Le travail de Maxwell en partenariat avec le comité de la British Association lui fournit quelques ressources lors de son installation à

Cambridge. Mais cela ne suffit pas à expliquer la création d'un laboratoire d'étalons à l'intérieur même de l'université. Si l'expérience des années 1860 avait mis en évidence les relations entre la télégraphie par câble et la métrologie électromagnétique, elle n'avait pas pour autant transformé un programme de recherche sur les étalons électrotechniques en une entreprise conforme à une institution libérale d'éducation telle que l'université. Ici, deux traits complémentaires doivent être mentionnés car ils concernent le déploiement de l'instrumentation électrotechnique à Cambridge. D'abord, Maxwell et ses associés travaillaient beaucoup pour que la métrologie ressemble à une entreprise morale, et donc pour que le programme de recherche corresponde à l'esprit de l'université. Ensuite, les administrateurs du laboratoire cherchaient à mettre en place des relations de travail à l'intérieur du Cavendish qui permettent de fabriquer des valeurs fiables et des mesures précises à partir de paramètres utiles. Aucune de ces stratégies ne permet de déduire que la vie du laboratoire reflétait les pures intentions du professorat. La vie en dehors de l'institution et en dehors de sa direction comptait au moins autant que le programme métrologique développé ici.

Au début des années 1870, Maxwell essaya de faire aller de pair l'usage des instruments fournis par la British Association, les ingénieurs responsables de câbles, et les intérêts des autres partenaires scientifiques. Parmi ceux-là, on comptait les astrophysiciens dont les spectroscopes montraient que la lumière et la matière se comportaient de la même manière dans l'espace profond et sur la Terre. Dans un article célèbre attaquant le modèle allemand d'action à distance alors à la mode, Maxwell défendit l'homogénéité de l'éther luminifère, « ce merveilleux médium, si plein qu'aucun pouvoir humain ne peut le retirer de la plus petite

portion d'espace, ou produire le plus léger défaut dans son infinie continuité[30] ». La régularité des spectres astronomiques connectait dès lors l'astrophysique, la physique de laboratoire et la théologie. Maxwell colporta cet argument moral à propos de la métrologie tout au long des années 1870 dans ses conférences publiques, dans ses discours devant la British Association et dans ses articles d'encyclopédie. Le fait que les molécules se comportaient à l'identique partout prouvait que les vibrations étaient standard, comme les manœuvres militaires ou les vis standardisées. Cela permettait de lier les valeurs de la caserne et de la production en série avec celles de Dieu et de chaque molécule.

> De l'ineffaçable caractère imprimé sur les molécules, nous pouvons apprendre que ces aspirations à la précision de la mesure, à la vérité dans la justice en acte […] sont les nôtres parce qu'elles sont les composantes essentielles de l'image de Dieu qui au commencement n'était pas simplement le ciel et la Terre, mais aussi les matériaux dont sont faits le ciel et la Terre[31].

En conséquence, un programme de recherche sur les étalons serait bon pour toute science universitaire, et ainsi la physique électromagnétique permettrait de relier les câbles, les circuits, les spectroscopes, la salle de classe et le pupitre.

Il fallait placer le laboratoire Cavendish dans ce réseau avec prudence. L'utilisation du laboratoire de Glasgow par Maxwell, Kalley Miller et l'administrateur William Thomson au début des années 1870 a été de ce point de vue hautement ambigu. Un bon exemple de cette différence avec les valeurs produites à Glasgow nous est fourni par l'interrogation soulevée par Maxwell dans un

échange avec Jenkin et Thomson à l'été 1872, une année après son arrivée à Cambridge et pendant qu'il achevait son *Traité sur l'électricité et le magnétisme*[32]. Maxwell demanda à Thomson s'il était d'accord pour qu'un « farad » soit défini comme « la capacité d'un très grand condensateur » plutôt que comme une « dose d'électricité ». Thomson répondit brutalement que les unités doivent être considérées comme des instruments réels à buts commerciaux :

> Quand la galvanoplastie, la lumière électrique, etc., deviendront commerciales, nous pourrons peut-être acheter un microfarad ou un mégafarad d'électricité […] S'il y a un nom qui leur est donné, il doit être avant tout donné à un objet réel, achetable et tangible plutôt qu'à une quantité d'électricité[33].

Avant la fin de la décennie, Thomson sera engagé dans la distribution d'énergie en pot, par l'intermédiaire de son association avec Joseph Swan et Camille Faure. Sa réponse si brusque et si typique à Maxwell en 1872 révélait un ensemble de valeurs que ces instruments étaient supposés incarner : celles du marché de la fin de la période victorienne.

Ces valeurs n'étaient pas cependant de celles qui pouvaient être facilement assimilées par Cambridge. L'établissement d'une nouvelle chaire de physique expérimentale résultait largement de la campagne de mathématiciens comme George Stokes, Lord Rayleigh et de leurs alliés dans la réforme des cours (*tripos*) de mathématiques par l'introduction de matières expérimentales. Rayleigh indiqua qu'il prendrait le nouvel emploi au laboratoire si Maxwell ne le prenait pas[34]. Ainsi, lorsqu'il envisagea de prendre le poste au printemps 1871, Maxwell demanda à la fois à Rayleigh et à

Thomson leur avis. Il conçut les plans pour le laboratoire et recommanda à Thomson

> d'obtenir de la British Association certains de leurs appareils pour le comité des étalons. En particulier, la bobine d'induction et le grand électromagnétomètre. Sinon, nous devrons avoir une grande bobine faite et mesurée avec la plus grande précision pour être utilisée comme un étalon.

Le programme des étalons était au centre de cette nouvelle vision, mais il était très fastidieux à mettre en place. De ce fait, en mars 1871, Maxwell dit à Rayleigh qu'il

> aurait besoin d'un gros effort pour intégrer des éléments de physique expérimentale dans notre système universitaire qui est si homogène et complet sans elle. Débarrasser l'esprit des symboles et même des expérimentations de papier pour concrétiser l'appareillage, cela reste très hasardeux, bien qu'il soit possible d'être fasciné par un cours fondé sur des observations dès que nous avons tout oublié de son caractère scientifique.

On craignait que les physiciens « puissent corrompre de jeunes esprits » avant qu'ils n'aient acquis un esprit critique : « On risque d'avoir toute l'université et tous les parents sur le dos[35]. » La production des étalons électromagnétiques exigeait de diriger le laboratoire comme un atelier. Cela supposait de nouvelles compétences et de nouveaux fabricants d'instruments. La localisation sur le même site de ces compétences et de ces

travailleurs fondait le pouvoir de cette nouvelle culture de laboratoire.

Ainsi, les problèmes d'organisation dominèrent l'institutionnalisation de la physique du Cavendish. Le stock initial d'instruments était ridicule et Maxwell ironisa en disant à Thomson que l'équipe d'aviron de l'université pourrait être utilisée comme source d'alimentation. Ces plaisanteries avaient presque une valeur politique parce qu'elles semblaient subvertir l'ordre moral de l'université. Plus sérieusement, Maxwell avait dû budgéter 2 500 livres pour recapitaliser et maintenir une levée de fonds fournie par le fondateur et bienfaiteur du laboratoire, le duc du Devonshire[36]. C'est pourquoi le transfert des instruments de la British Association convenu durant l'été 1871 comptait autant. Lorsque le laboratoire fut achevé en 1874, Maxwell demanda à Jenkin de « se mettre en quête » de plus d'outils d'étalonnage. Ces instruments arrivèrent à Cambridge à l'automne 1874, mais ces transferts ne pouvaient suffire à faire exister un laboratoire d'étalons[37]. Le propre assistant de Maxwell, Pullin, se montrait complètement incapable de travailler sur le projet, tout juste bon à diriger des employés du rail, mais pas des techniciens. Quand Rayleigh prit la chaire après la mort de Maxwell en 1879, Pullin lui rappela que, dans toute sa carrière, il n'avait fait que « souder deux câbles ensemble et fabriquer de l'oxygène ». Rayleigh s'en passa. Et à la fin du règne de Maxwell, Rayleigh jugeait amèrement que le Cavendish était « très imparfaitement équipé », qu'ils devraient commencer les démonstrations de laboratoire et qu'une réforme majeure s'imposait pour faire revivre le programme des étalons[38].

L'institutionnalisation de la science est dominée par des rites de passage. La physique expérimentale de Cambridge ne fit pas exception, mais la formation que l'on y prodiguait était notoirement

chaotique et chaudement disputée. Arthur Schuster, engagé comme chercheur au Cavendish en 1876 pour travailler d'abord sur la loi des ohms puis sur la spectroscopie, rappelle que « les instruments souffraient plus que les étudiants pour être trop fréquemment laissés ensemble sans surveillance ». Richard Glazebrook, un des adjudants de Rayleigh, souligna aussi les inconvénients de cette indiscipline : « Avec une classe nombreuse d'étudiants qui doivent tous apprendre certaines lois fondamentales dans un temps limité, […] l'organisation est absolument essentielle[39]. » Le nouveau régime établi par Raleigh et Glazebrook aida à la fabrique de nouveaux physiciens au moment où les ci-devant tuteurs de mathématiques tentaient de contrecarrer cette évolution. Le porte-parole de ces derniers, Isaac Todhunter, chef acclamé des enseignants des cours de mathématiques, déniait simplement aux expérimentateurs le droit à toute formation. Il affirmait que la répétition sans fin du travail instrumental dans une classe « ne pourra jamais renouveler l'intérêt scientifique qui réside tout entier dans le premier essai ». Il concluait : « On peut dire de l'expérimentateur, comme du poète, qu'il est né expérimentateur et ne peut le devenir. » Todhunter et ses alliés firent ainsi tout leur possible pour rendre plus difficile encore la formation des physiciens et la création d'un laboratoire d'étalons dans une université libérale[40].

Les administrateurs du laboratoire devaient également résoudre les problèmes d'instrumentation. Il fallait combler la séparation entre le laboratoire et l'atelier. En juillet 1873, Maxwell rapporta qu'il « est impossible de se procurer certains instruments parce qu'ils ne sont pas conservés en stock, mais fabriqués à la demande ». Les instruments d'étalonnage nécessitent un contrôle individuel durant leur construction : « Toute leur valeur dépend de leur capacité à remplir des conditions qui sont déterminées par un essai, ce qui

suppose un certain délai avant que tout soit en ordre de marche. » Le transfert de technologie et la conception nécessitent des conditions qui s'appuient sur des compétences tacites. Ils ne pouvaient être développés dans une communication à distance et souvent formelle entre fabricants et usagers. Ainsi, comme le prônait Maxwell en 1877, l'éloignement entre ouvrier et chercheur devait être aboli :

> L'expérimentateur ne voit le fabricant d'instruments qu'à de rares occasions. Il n'est peut-être pas totalement au courant des ressources de l'atelier, et de ce fait ses instructions ne peuvent être qu'imparfaitement comprises par l'artisan. D'un autre côté, l'artisan n'a aucune chance de voir l'appareil fabriqué fonctionner, et de ce fait les améliorations que ses compétences pratiques pourraient lui suggérer sont soit perdues soit mal ajustées[41].

Changer cet état de fait était difficile. Pour rendre plus efficace cette complémentarité, ils disposaient de trois leviers : renforcer les liens avec les ingénieurs de Londres et de Glasgow ; améliorer le recrutement dans le nouveau département d'ingénierie de l'université placé sous la direction du professeur controversé James Stuart ; ou encore engager des techniciens de laboratoire. Au milieu des années 1870, le technicien Robert Fulcher, ancien membre de l'usine de Stuart en Écosse, vint au Cavendish. Le propre atelier de Stuart commençait à fabriquer des instruments pour le laboratoire, et cela contribua à aider la nouvelle Compagnie d'instruments scientifiques de Cambridge à sortir de son statut de fournisseur du laboratoire de physiologie de l'université pour devenir une véritable entreprise aux intérêts scientifiques plus diversifiés. Cette fabrique

commença à fournir le Cavendish en équipement mais aussi en emplois pour les étudiants[42].

Les ressources humaines étaient essentielles pour le projet des étalons électromagnétiques. Maxwell commença à concevoir de nouvelles méthodes pour déterminer à nouveau l'unité de résistance et pour évaluer la valeur de V. Ils avaient donc besoin d'une grande précision. Il estima qu'une meilleure valeur de V pouvait être obtenue avec un commutateur lié à un condensateur à air. La force du courant dans le circuit pouvait être mesurée en unités électromagnétiques utilisant un courant constant équilibré, tandis que la valeur électromagnétique de la quantité de charge pouvait être trouvée à partir de la vitesse du commutateur et des dimensions du condensateur. Cette méthode avait encore besoin d'une bonne valeur pour devenir l'étalon de résistance de la British Association. Le but de l'opération était d'obtenir du personnel supplémentaire pour ne pas être confronté aux problèmes que son équipe avait rencontrés à Londres dans les années 1860. Maxwell conçut une méthode ayant une faible dépendance à la variation à la sortie de la batterie et ne nécessitant pas de calibrer le galvanomètre balistique. Pour assurer une chute très rapide du courant quand le commutateur était en train de fonctionner, il voulait inclure un espace radial étroit rempli d'isolant à l'intérieur du gabarit en bronze qui tenait mutuellement les bobines d'induction. Le tout dernier cours magistral de Maxwell à Cambridge fut consacré à une étude de la forme de ce courant en déclin dans le système d'induction. Les notes de ce cours furent intégrées de manière posthume dans l'édition suivante du *Traité*[43].

De bonnes bobines et des gabarits étaient nécessaires. À l'été 1877, ils ne pouvaient toujours pas être fabriqués à Cambridge et étaient donc commandés à Londres. Les problèmes de Maxwell avec

les fabricants lointains et donc difficiles à contrôler commencèrent à ce moment-là. Fulcher allait les résoudre en fabriquant les rouleaux sur place. En janvier 1878, on s'enquit à nouveau auprès de Hockin du travail des autres laboratoires, en particulier celui de Carey Foster à Londres où les effets de la température sur la résistance étaient utilisés. On confia à Ambrose Fleming, un nouvel étudiant en sciences à Cambridge, la tâche de transplanter la méthode de travail de Londres à Cambridge[44]. Le mathématicien George Chrystal obtint quant à lui la surveillance de ce travail. Durant l'année 1878, il fit part à Maxwell des difficultés qu'il rencontrait quand il enroulait les bobines sur les gabarits en bronze. Il remplit pas moins de douze pages du carnet de laboratoire avec de nombreux détails sur l'enroulement. Il suggéra des moyens de réguler la résistance du commutateur et indiqua que « le fil que nous avons reçu n'était pas ce qu'il devrait être ». Le problème principal était bien en l'occurrence le support technique : « En l'absence d'assistance, je ne peux aller au-delà de l'essai préliminaire qui promet d'être un succès. » Avant juillet, Chrystal confirma : « Je propose d'avoir les bobines enroulées par Fulcher à ma disposition, afin que je puisse rendre compte de chaque couche si nécessaire. » Grâce à ces nouveaux équipements *in situ*, associant les techniciens de Stuart et les licenciés en mathématiques les plus brillants de Maxwell, le professeur put dire à l'université qu'enfin « la plupart des appareils utilisés à Cambridge qui avaient été commandés à Londres, pourraient être construits à Cambridge et testés sous peu par ceux qui les utilisent[45] ». Ainsi les difficultés causées par la calibration à distance qui avaient entravé le fonctionnement d'un laboratoire isolé pouvaient être résolues par un nouveau type de compétences d'atelier développé à l'intérieur du Cavendish.

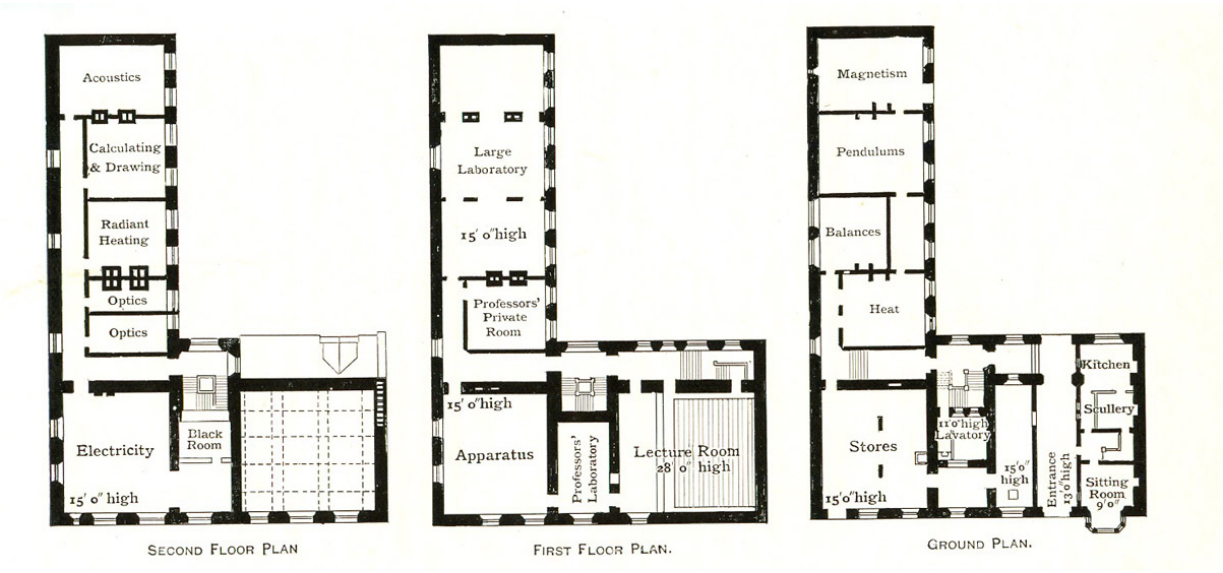
Cette solution impliquait l'articulation de l'instrumentation et de la formation. Les bobines d'induction, les magnétomètres et les commutateurs devenaient ainsi emblématiques de cette formation en laboratoire. Le *Traité* de Maxwell aida à expliciter ce statut. Le texte décrivait et rationalisait l'instrumentation. L'analyse brillante de Maxwell à propos de la galvanométrie balistique en donne un exemple. Ailleurs, les chapitres sur les instruments passaient en revue une hiérarchie d'outils s'échelonnant depuis ceux à « méthodologie nulle ou de degré zéro » tel l'électroscope, appareil d'enregistrement et lecteur d'échelle, jusqu'aux « instruments si élaborés qu'ils contiennent les moyens de déterminer indépendamment la vraie valeur des quantités ». Maxwell y expliquait la signification doctrinale et pratique des mesures absolues. Les notes de son programme, qui ont eu un impact très fort à l'exposition des instruments scientifiques de Londres en 1876, visaient le même but. La conception des instruments incarnait les principes de la physique. Ils étaient conçus pour illustrer ces principes mais aussi pour les explorer : « Il doit y avoir un premier moteur ou une puissance motrice, et un train de mécanisme permettant de relier le premier moteur et le corps à déplacer. » La dynamique était basique en théorie et la transmission d'énergie basique en pratique. Les instruments électriques devaient être classés en sources, canaux, contraintes, réservoirs, trop-pleins, régulateurs, indicateurs, et finalement échelles, telles que l'ohm. En concevant les instruments comme des machines, Maxwell contribua à tisser un lien entre l'atelier et les pratiques du laboratoire [46].

Ce vocabulaire lié aux machines permit l'introduction des étalons de la British Association dans le laboratoire. Dans les années 1870, l'habitude était d'introduire un novice dans le Cavendish en le

faisant travailler sur le magnétomètre standard, car cela permettait de

> pratiquer non seulement la lecture des échelles et les ajustements de marquage, mais aussi des observations mesurées dans le temps, en comptant les battements d'une montre pendant que l'on observe l'aimant vibrant[47].

Le statut de la machinerie de la British Association était également visible dans la disposition du laboratoire. La salle des aimants occupait la partie est du rez-de-chaussée, un emplacement symbolique, avec des supports solides et des espaces relativement grands pour les équipements auxiliaires. Ces dispositifs étaient essentiels à l'accomplissement des rites d'entrée dans le laboratoire. Mais lorsque Glazebrook commença son travail au Cavendish en 1876, on lui demanda d'aider Chrystal à utiliser un électromètre à quadrant pour surveiller la constante de la force électromotrice d'une série de batteries. Il abandonna très vite, ce qui mit en relief la différence de valeurs entre le programme d'étalons et les *cursus honorum* de l'université : « La mesure que l'on m'a demandé de faire ne semble pas pouvoir donner matière à une thèse[48]. »



4. La mise en scène du laboratoire

La disposition originale du laboratoire Cavendish en 1874. Les expériences sur la détermination des étalons de résistance étaient réalisées au rez-de-chaussée dans la salle magnétique, où l'électrodynamomètre de la British Association avait été disposé sur un piédestal en pierre fixé sur une fondation en béton. Le plus grand espace était réservé aux examens des nouveaux étudiants : la chaleur et le magnétisme au rez-de-chaussée et l'électricité dans la grande salle sous le toit.

C'était là une manière de promouvoir un cadre de formation, mais il y en avait d'autres. Dans la première année des opérations, au printemps 1874, Maxwell demanda à sa classe d'utiliser le magnétomètre pour mesurer les lignes de force du champ géomagnétique et sa direction. Puis il compara ses résultats avec ceux de l'observatoire de Kew et leur demanda des instructions sur la meilleure manière de mettre en place le grand instrument. Les mêmes problèmes se posèrent dans ses échanges avec Jenkin concernant les meilleurs moyens de faire fonctionner l'équipement de la British Association. Il demanda à Jenkin la « recette » pour le régulateur qu'il avait conçu au milieu des années 1860, expliquant : « J'ai besoin d'un régulateur à friction rapide construit essentiellement selon votre principe mais avec quelques

modifications pour assurer un bon équilibre. » Maxwell ne savait pas où en trouver un. Il avait aussi besoin de leçons sur la conception des équipements anciens, tels que les condensateurs à anneau de garde qui avaient joué un rôle crucial dans sa redéfinition de l'ohm. Maxwell commença à développer une technologie théorique qui utilisait le *Traité* pour interpréter le comportement du galvanomètre balistique : « Nous apprenons à distinguer entre les poussées, les coups et les secousses de l'aiguille du galvanomètre. » Initialement, ce processus d'apprentissage était fondamentalement empirique : « Règle : mettre l'aiguille qui bouge à une amplitude égale à la secousse, puis, quand elle est à l'extrémité de sa trajectoire, établir ou rompre le contact afin que la secousse la porte à zéro. » Avant l'automne suivant, cependant, l'équipe de Maxwell gagna rapidement en savoir-faire en associant son travail dans le *Traité* sur la charge du courant et leur travail sur le galvanomètre dans le circuit de mutuelle inductance[49]. Ce travail ne dérivait pas de simples applications des vérités tirées des principes de Maxwell. Les ressources théoriques et pratiques allaient de pair. Étudiants et ouvriers apprirent à considérer les compétences électromagnétiques du banc d'essai du laboratoire comme les manifestations des principes généraux tels que le changement de courant et la force du champ. Cependant, comme ses collaborateurs le soulignèrent souvent, il y avait un très grand écart entre sa vision d'une force de travail bien formée et la production de compétences pratiques et routinières. Par exemple, en 1874, W.M. Hicks, inspiré par l'enseignement de Maxwell, essaya d'utiliser un galvanomètre balistique équilibré entre deux rouleaux de différentes tailles installés à différentes distances afin de mesurer la vitesse des ondes électromagnétiques : « Bien sûr, cela ne donna rien, mais cette expérience pratique était importante pour moi[50]. » Le problème que

le laboratoire Cavendish dut affronter était de définir et de diffuser cette fragile notion de pratique.

Les unités de résistance internationalisées

Le successeur de Maxwell, Rayleigh, accepta la chaire du Cavendish en 1879 en partie parce que la dépression agricole avait réduit les revenus de sa ferme à un niveau qui ne lui permettait plus de garder son laboratoire privé dans son fief rural de Terling, où il passa la majeure partie des années 1870 à accomplir d'importants travaux sur l'acoustique, les résonateurs et l'optique expérimentale. En tant qu'aristocrate terrien, Rayleigh était bien placé pour obtenir les fonds nécessaires à l'équipement du Cavendish, soit entre 2 000 et 3 000 livres d'investissement. Ses camarades tories Arthur Balfour et Lord Salisbury furent enrôlés et commencèrent à participer aux essais électromagnétiques à Cambridge et dans sa maison de Terling. Le nouveau régime se caractérisait par une discipline précise, centrée sur la salle de classe et sur le projet des étalons. Schuster rappela à Rayleigh que « même un homme habile est un être sans défense lorsqu'il entre pour la première fois dans un laboratoire ». Sous Maxwell, « trop de temps fut gaspillé à cause d'un équipement qui, installé pour un travail expérimental précis, était déplacé parce qu'une pièce était exigée pour un cours élémentaire ». Sous Rayleigh, le nombre d'étudiants passa de vingt à plus de cent. De nouveaux démonstrateurs furent engagés comme le remarquable expérimentateur formé en Allemagne Napier Shaw, et bien sûr Glazebrook. En outre, un agenda de recherche fut imposé –

rébarbatif aux yeux de la plupart des étudiants mais essentiel pour les plans des administrateurs[51]. Les collaborateurs de Rayleigh cherchèrent des instruments bon marché et robustes pour leurs classes et se mirent activement en quête de nouvelles compétences. Désormais, un lien était clairement établi entre ces compétences et les machines. Rayleigh le dit clairement à Chrystal :

> Je souhaite que vous soyez encore à Cambridge maintenant que nous avons moins d'ouvriers expérimentés qui y travaillent. Nous sommes en train d'organiser une répétition de l'expérience de la British Association avec le rouleau pivotant, mais nous ne sommes pas encore allés bien loin. Il est difficile d'isoler suffisamment les parties suspendues des tremblements, ce qui a pour effet de déranger l'aiguille plus que nous nous y attendions.

Chrystal répondit que « Maxwell avait une foi considérable dans la méthode BA – ce que vous dites à propos des effets des tremblements est curieux ». Les démonstrateurs tiraient leurs connaissances de Berlin, de la physique de Pickering enseignée au MIT et des cours du soir en télégraphie dirigés par Grylls Adams au King's College de Londres après le départ de Maxwell. La coutume à Cambridge était d'utiliser la salle du magnétomètre du Cavendish pour mettre en place un appareil d'étalonnage pour des paires d'étudiants, avec des essais à accomplir sur la base d'un tableau affiché au mur[52].

Les dispositifs standardisés devinrent indispensables et la Compagnie d'instruments scientifiques de Cambridge prit son essor. Les volumes manuscrits de bonne procédure, régulièrement révisés, furent corrigés par les assistants et copiés par les étudiants. Ces

notes aboutirent à un nouveau manuel : *Practical Physics*, publié par Glazebrook et Shaw au printemps 1885. Le livre comportait des publicités pour la Compagnie d'instruments scientifiques de Cambridge et des détails de l'équipement d'étalonnage que le Cavendish utilisait. Glazebrook et Shaw spécifiaient que

> la description, afin d'être précise, devait se référer à des formes particulières d'instruments, et pouvait de ce fait être dans une certaine mesure inapplicable à d'autres instruments de même nature […] nous pensons qu'il vaut mieux s'en tenir aux descriptions précises des instruments en usage dans notre propre laboratoire[53].

Les assistants du laboratoire et les ouvriers de la Compagnie étaient maintenant la force dont dépendait ce rapide processus de standardisation et d'institutionnalisation, tandis que les stipulations à propos des instruments spécifiques étaient conçues pour garantir la diffusion de ce style. Manuels, forces de travail, étalons matériels étaient tous nécessaires à la propagation des étalons du Cavendish. Ce fut particulièrement important, par exemple, dans l'engagement de Cambridge avec le monde étendu des laboratoires de physique allemands, où, notamment au laboratoire de physique de Göttingen, les valeurs de Cambridge ne comptaient pas encore. Cambridge et Göttingen furent les deux villes visitées par le physicien américain Henry Rowland en 1875-1876. À Cambridge, il prodigua à Maxwell des encouragements ; à Göttingen, il attaqua les efforts de l'équipe de Friedrich Kohlrausch pour produire de bons étalons électromagnétiques. C'est dans ce contexte que Rowland vit l'appareillage original utilisé par Gauss et Wilhelm Weber pour déterminer les premières unités électriques et magnétiques absolues

au début du XIX^e^ siècle et aussi le nouveau dispositif de Kohlrausch pour la détermination de la valeur absolue de l'unité de Siemens. Rowland écrivit à Maxwell en mars 1876 que, en dépit des succès impressionnants des Allemands, « il me semble que la mesure *précise* de résistance, qu'elle soit absolue ou relative, reste une science anglaise presque inconnue en Allemagne[54] ».

Quand Glazebrook et Shaw produisirent leur nouveau manuel en 1885, ils utilisèrent l'ouvrage exemplaire de Kohlrausch intitulé *Leitfaden der praktischen Physik* (1870 ; 4^e^ édition en 1880) comme modèle. Ce dernier fut encouragé à le publier par son chef Wilhelm Weber, vétéran des recherches menées avec Gauss sur les unités absolues. Kohlrausch fournissait des indications utiles pour les hommes de Cambridge. Il présentait la détermination des étalons électriques et magnétiques comme le but ultime de la formation initiale. Mais son livre comportait aussi des défauts. Il ne plaçait pas la dynamique au cœur du projet du laboratoire, ni ne pouvait rendre compte de la relation entre le système de la British Association et les unités télégraphiques pratiques adoptées en Grande-Bretagne et en Allemagne. Le manuel de Cambridge réaffirmait la foi dans le « développement de la science physique selon les lignes indiquées par le principe de conservation de l'énergie [qui] avait rendu plus manifeste l'importance de la dynamique expérimentale comme base de la physique expérimentale ». Le livre renvoyait au *Traité* de Maxwell et à son texte de 1876 sur les instruments. Le traité affirmait en effet que « la détermination de la résistance électrique peut être considérée comme l'opération cardinale en électricité, de la même manière que la détermination du poids est l'opération cardinale de la chimie ». Glazebrook et Shaw s'accordaient sur ce point :

> Les étalons de résistance ont l'avantage des étalons matériels en général. La résistance est une propriété définie d'une pièce de métal, de même que sa masse. Le rouleau peut être déplacé de lieu en lieu sans altérer sa résistance et donc, par pure commodité, la résistance électrique en est venue à être considérée comme étant en quelque sorte la quantité fondamentale en rapport avec le courant électrique[55].

Le terme de « commodité » était supposé se référer à l'unité arbitraire de Siemens et à ses admirateurs allemands. L'accent mis sur les fondamentaux était une caractéristique du style de vie au Cavendish. L'étudiant ne devait jamais se départir de l'idée qu'il était un néophyte dans le réseau mondial de l'électrotechnologie et qu'il appartenait à une culture locale de la mesure absolue.

De leur côté, les techniciens de laboratoire servaient de médiation entre ces deux mondes. George Gordon par exemple, un charpentier de Liverpool embauché par Glazebrook en 1879, fit le lien entre le laboratoire des étalons et le programme d'enseignement, fabriquant des instruments et concevant des expériences pour les deux[56]. Rayleigh fut horrifié d'apprendre que de tels hommes devaient être traités comme des mercenaires personnels et devaient être découragés d'entreprendre leurs propres recherches. Pour lui, Gordon devait être plutôt considéré comme son valet scientifique et il le ramena d'ailleurs à Terling en 1884. Il mourut deux décennies plus tard dans un asile de fous après avoir tenté de se suicider[57]. Entre les murs du laboratoire, cependant, le statut du valet évolua vers celui d'administrateur technique. Ce changement avait des implications sur la précision des étalons dans la mesure où le travail de Gordon était associé à la fois aux compétences de Schuster, à celles de l'administrateur de la

Compagnie d'instruments scientifiques de Cambridge, Horace Darwin, et à la famille Rayleigh elle-même par l'intermédiaire de sa brillante belle-sœur Eleanor Sidgwick[58]. Toute l'entreprise des étalons de la British Association fut restructurée entre 1879 et 1882. Un large réseau de compétences et de ressources fut désormais mobilisé. De jeunes mathématiciens de formation furent recrutés, dont J.J. Thomson. Des fabricants d'instruments de l'usine de Darwin furent enrôlés. Schuster et Rayleigh supervisaient personnellement l'enroulement des bobines chez les Frères Elliot qui fabriquaient le nouvel équipement pour Cambridge[59]. Des efforts furent faits pour tester (et discréditer) les mesures de résistance des colonnes de mercure chères au style de Siemens. Kohlrausch fut consulté et son travail étouffé. Rayleigh étudia aussi les dispositifs élaborés par Maxwell à Londres et à Cambridge[60]. Les nouvelles équipes comprirent qu'avec un accès au propre appareillage de Maxwell elles pourraient améliorer sa précision, en insistant simplement sur une surveillance plus stricte dans l'atelier et parmi les fabricants de bobines. Par exemple, Rayleigh jugeait que les comités initiaux de la British Association avaient échoué à clarifier la question de savoir si la « largeur » de la bobine était sa dimension axiale ou radiale. Au lieu de la vieille roue de Huygens, ils utilisaient une roue dentée, avec un diapason de Koenig, pour chronométrer les rotations. Un moteur à eau Thirlmere était utilisé comme une conduite. L'équipe trouva que l'offre d'eau publique ne pouvait fournir une direction constante, et donc qu'ils devaient construire leur propre pompe à l'intérieur du Cavendish. Des aiguilles magnétiques auxiliaires avec de nouvelles montures fabriquées par la Compagnie d'instruments scientifiques de Cambridge furent utilisées. Peu à peu, le rez-de-chaussée du laboratoire commença à ressembler à une usine[61].

Pendant l'été 1881, Rayleigh fit un rapport de ces améliorations concernant la précision à la British Association. Il encouragea les laboratoires londoniens à reproduire ses mesures. Lorsque la variation des vieux étalons de la British Association fut jugée vraiment trop importante, on jugea qu'un système de tests systématiques de résistance devait être mis en place :

> Un tel système serait analogue au système adopté par le comité de Kew pour le test des instruments météorologiques à l'observatoire de Kew, mais malheureusement il n'a pas encore été installé par ceux qui auraient dû l'entreprendre.

En d'autres termes, un laboratoire de mesure d'étalons seul n'était pas suffisant. Des changements majeurs dans les pratiques du télégraphe et d'autres entreprises électrotechnologiques devaient s'imposer si l'on voulait que les valeurs de Cambridge se répandent au-delà du contrôle immédiat du Cavendish[62]. À la seconde étape de leur campagne, l'équipe de Rayleigh travaillait à rendre les tours plus robustes et plus portatifs. Un nouvel appareil des Frères Elliot, « davantage conçu selon les exigences de l'ingénierie », fut commandé. Rayleigh demanda en outre à Glazebrook d'essayer la méthode concurrente de Rowland avec les raffinements de la proposition de Maxwell pour déterminer un courant auxiliaire provoqué lorsque le courant primaire dans une bobine d'inductance était inversé. La précision de la méthode dépendait de la fiabilité du galvanomètre balistique considéré comme difficile à calibrer. Dès les années 1882-1883, toutes les ressources du Cavendish étaient mobilisées pour en faire un laboratoire mondial d'étalons électromagnétiques. Chaque nouvelle méthode de résistance fut évaluée, y compris le schéma de Lorenz pour faire tourner un disque

entre deux bobines coaxiales[63]. Une résistance test apportait le courant qui passait à travers les bobines. Sa valeur fut déterminée en équilibrant l'EMF produit et le courant aux terminaux de la résistance. La variation de la position de l'aiguille du galvanomètre donne un exemple de la surveillance nécessaire à ces expériences : « le maximun de différence entre deux déviations » variait entre 1/3 000 des unités à vitesse basse et 1/6 000 des unités à vitesse haute. Rayleigh conclut que sa meilleure estimation de la valeur de l'unité de la British Association à $0{,}94865 \times 10^7$ m/sec avait une précision de 1/1 000. On affirmait qu'aucun autre laboratoire ne pourrait rivaliser avec cette stabilité[64]. Rayleigh et M^{me} Sidgwick estimèrent qu'ils devaient vérifier à nouveau tous les facteurs de leur meilleure méthode, en particulier le réglage de leur fourche dont dépendait leur timing. Ils essayèrent de calibrer leur interrupteur de fourche par rapport à un pendule :

> Si l'on souhaitait pousser la puissance de la méthode à ses limites, le travail devrait être entrepris dans un observatoire astronomique, et étendu à toute la durée de l'expérience, afin d'évaluer l'horloge en fonction de l'observation des étoiles.

Dans tous les cas, la coordination minutieuse de techniques pouvait être utilisée pour conforter une version crédible de l'étalon. C'est le statut de l'électromagnétisme britannique qui était en jeu[65].

Au début des années 1880, le Cavendish était devenu un candidat plausible pour constituer le tribunal de la résistance. Le directeur de la télégraphie postale impériale, W.H. Preece, annonça qu'il acceptait désormais la valeur de l'ohm de Cambridge et « était sur le point de faire publier une circulaire dans toutes les stations au pays comme à l'étranger à cet effet […] mes instructions vont

toucher des centaines d'observateurs ». Même William Thomson, maître de la métrologie, envoya ses boîtes de résistance pour vérification « par rapport au vrai, c'est-à-dire en ohms de Rayleigh ». Comme l'écrivait le savant de Glasgow,

> de ce que j'ai entendu dire […] à propos de la certification de l'étalon d'ohm que l'on m'a envoyé du laboratoire de Cavendish, je peux être confiant que celui que j'ai à Glasgow est assez près de l'unité BA pour mon usage[66].

Ce processus de déplacement du contrôle à Cambridge était à la fois managérial et disciplinaire, faisant du Cavendish le juge potentiel des autres techniques. Mais aucun atelier, aucun bureau de télégraphe, ne pouvait avoir l'espoir d'imiter une telle utopie. Qui plus est, aucun laboratoire rival, en particulier allemand, ne semblait pouvoir rechigner à suivre le régime imposé par le Cavendish. Pour que tout cela soit possible, il fallait des technologies robustes, qui puissent voyager en dehors de Cambridge. Ces technologies étaient d'abord *matérielles* puisqu'il était dans l'intention de l'équipe de Rayleigh de vérifier les nouvelles boîtes de résistance et d'étalon de cellules. Elles étaient aussi littéraires puisque les manuels comme la *Practical Physics* furent conçus pour réformer l'organisation du laboratoire et changer l'ordre de l'expérience à enseigner. Enfin, elles étaient *sociales* comme en témoignent l'importance des changements dans l'organisation de la station du télégraphe et les grands colloques internationaux où les physiciens britanniques furent mis à l'épreuve dans les années 1880.

Ces technologies naturalisaient l'ohm, le transformaient en propriété de la nature plutôt qu'en une construction de Lord

Rayleigh. Elles transformaient également ces étalons absolus en vertus morales. Les expositions, les colloques, les manuels et les instruments permirent cette transformation. Entre 1881 et 1893, pas moins de six rencontres internationales d'électriciens furent tenues, et parmi elles de nombreux débats sur les valeurs et les étalons concurrents. Chacune de ces rencontres était une occasion de publicité et de propagande au nom des systèmes techniques rivaux comme ceux de Siemens et Thomas Alva Edison. En 1881, par exemple, l'exposition qui se tint à Paris, et qui comptait Thomson, Siemens, Helmholtz et Clausius, entérina un accord provisoire sur les problèmes de nomenclature. Elle fixait les termes d'un compromis entre les systèmes de Siemens et de Cambridge, et affirma avec force la valeur d'un système d'unités qui exprimait les relations dynamiques fondamentales[67]. La rencontre de l'année suivante, en l'absence de Rayleigh, admit que le terme d'« ohm » renverrait à l'unité absolue elle-même, et pas à quelque approximation pratique. De longues discussions furent nécessaires pour établir la moyenne de valeurs qui différaient beaucoup en taille et en crédibilité. Thomson dit à Rayleigh : « Je suppose que votre ohm doit être déclaré l'unique et le vrai ohm pour notre génération. » En l'occurrence, « c'étaient précisément un ou deux étalons appelés unités de Siemens qui étaient responsables du décalage ». C'étaient là les premières salves d'une guerre qui allait durer longtemps. Carey Foster, revenu de Paris en 1882, rapporta perfidement à Rayleigh qu'apparemment « la conclusion qui s'imposa fut que d'autres expérimentations étaient nécessaires et que n'importe qui pouvait les réaliser ». Rowland, à l'inverse, saisit l'opportunité pour lever des fonds pour un nouveau comité des étalons, qu'il mit en place pour vérifier les valeurs de Cambridge avec son ancien équipement puis avec un nouvel appareillage de

haute précision. Avant 1884, il fut donc établi que l'ohm légal était défini par une longueur de mercure d'environ 106 centimètres. Ce fut la définition que les délégués parvinrent à obtenir pour s'approcher de l'étalon de Rayleigh. Cela équivalait à un compromis entre la *valeur*, qui appartenait à Cambridge, et l'*unité*, définie dans les termes de Siemens[68].

Bien sûr, le pouvoir du laboratoire de mesure d'étalons ne fut pas remis en cause par n'importe quel délégué. Werner Siemens, qui s'arrangea pour que ses étalons de mercure soient distribués à Cambridge via son frère William basé à Londres, affirma crûment qu'il « n'avait pas trouvé de lieu en Allemagne pour réaliser le travail difficile de production d'une unité de résistance absolue de Weber », faisant pression pour obtenir que l'établissement du Physikalisch-Technische Reichsanstalt soit créé au plus vite[69]. L'alliance du laboratoire d'instrumentation et du laboratoire d'étalons normés fut officiellement enregistrée par les lois sur les poids et mesures, protocoles qui contenaient les modes opératoires pour élaborer l'ohm et la cellule d'étalon. Les instructions sur les moyens d'obtenir les fils de cuivre pour définir les propriétés de l'étalon, que les fabricants d'instruments pouvaient fournir et que les laboratoires pouvaient vérifier, furent aussi édictées. Toutes ces leçons ne furent pas perdues pour Glazebrook, qui n'avait pas obtenu la succession de Rayleigh à la chaire du Cavendish en 1884. Défaits par J.J. Thomson, Rayleigh et Glazebrook se lancèrent dans l'établissement d'un Laboratoire national de physique, cette fois-ci soutenu par l'État. Les alliances avec le gouvernement obtenues par l'intermédiaire du beau-frère de Rayleigh, Balfour, réussirent. Significativement, c'était désormais le Physikalisch-Technische Reichsanstalt de Siemens qui était la référence des Britanniques[70]. Le projet des étalons survécut au changement de personnel et de

programme du Cavendish dans les années 1890 : les instruments fiables avaient besoin d'institutions fiables pour fonctionner.

Le même processus d'institutionnalisation de la formation et de naturalisation des étalons était à l'œuvre dans la production des manuels universitaires. Une décision fondamentale fut prise à Paris concernant la publication d'un texte accessible qui soit au croisement de l'exposition des faits et de leur explication. Une kyrielle de travaux suivirent, chacun reprenant les résolutions de Paris, s'efforçant de faire de l'ohm « une part de la nature des étudiants », comme l'écrivait le professeur en mécanique de Londres William Ayrton. Ces nouveaux manuels combinaient l'absolutisme d'un Thomson et les techniques développées au Cavendish. Ainsi, l'ouvrage d'Andrew Gray, *Absolute Measurements in Electricity and Magnetism* (1884), qui renversait l'ordre traditionnel d'exposition de cette discipline, eut un succès considérable. Il commençait par des descriptions des instruments de Thomson et d'Horace Darwin, puis comparait les valeurs du système absolu, et finissait par une explicitation des relations de l'énergie intrinsèque. Ayrton adopta la même stratégie d'exposition de son côté. Comme il l'écrit : « Le sujet du courant est traité en premier, parce que, dans presque toutes les industries dans lesquelles l'électricité est utilisée, c'est le courant électrique qui est employé. » On apprenait ainsi aux étudiants que la métrologie « serait capable dans le futur d'exprimer des résultats en unités totalement indépendantes des instruments, du contexte et du lieu de travail du chercheur[71] ».

William Thomson fit de cette affirmation sur l'indépendance des unités une fantaisie scientifique à l'occasion d'une conférence qu'il donna devant les ingénieurs civils en mai 1883. Après avoir consulté Rayleigh pour connaître les détails des dernières recherches menées au Cavendish, Thomson esquissa le portrait de la « carrière du

voyageur scientifique ramant désormais à travers tout l'univers », équipé de la seule autorité de la métrologie contemporaine : « Ce qui apparaît comme étant le plus court et le plus sûr moyen d'atteindre la philosophie de la mesure […] c'est de couper toutes connexions avec la Terre, et de penser ce que nous devons alors faire, pour prendre des mesures qui seraient comparables avec celles qui nous réalisons dans nos ateliers et nos laboratoires sur Terre. » L'astronaute de Thomson obtient son unité des longueurs par l'intermédiaire de la longueur d'onde de la lumière, déterminée par une diffraction, et de là « suit le protocole de Lord Rayleigh et de Madame Sidgwick » afin d'obtenir l'ohm et l'unité de temps. Finalement, même la méthode de Maxwell pour la décharge oscillatoire fut présentée comme un moyen idéal pour saisir les unités de temps absolues, et par suite les unités de toute la physique[72]. Ce labeur immense avait été ainsi mené dans l'unique but de faire disparaître, comme par enchantement, les pratiques locales qui avaient présidé à la production des étalons. Les physiciens britanniques pouvaient dès lors dire à leurs étudiants comme aux consommateurs où acheter des instruments solides, où apprendre les bonnes techniques, et quelle était la morale la plus appropriée pour le bon fonctionnement de leur laboratoire. Ils pouvaient désormais déclarer que le système absolu ne dépendait ni d'instruments particuliers, ni d'une technique ou d'une institution. Inutile d'ajouter que cette affirmation conforta le pouvoir de la métrologie. Cette dernière implique en effet tout un travail de fabrication des valeurs puis rend cette origine invisible. Ce chapitre a essayé au contraire d'historiciser ce processus, en retrouvant les liens perdus entre les instruments de métrologie et leurs institutions privilégiées. L'honorabilité de ces instruments et de ces institutions

dépend donc étroitement de leur capacité à représenter et à transformer le monde au-delà de leur environnement immédiat.

CHAPITRE 8

Expérimentations publiques

Il semble aujourd'hui difficile de rassurer l'opinion publique et de lui donner un sentiment de confiance et de sécurité. Notre époque est riche de promesses (l'agro-industrie, le secteur pharmaceutique) mais elle est aussi lourde de menaces (les armes de destruction massive et autres scénarios de fin du monde en sont un bon exemple). Il serait donc opportun de trouver un moyen de concevoir des expérimentations publiques autour de ces promesses et de ces menaces.

> On souhaiterait, par exemple, pour qu'un miracle fût bien constaté, qu'il fût fait en présence de l'Académie des sciences de Paris, ou de la Société royale de Londres, et de la Faculté de médecine, assistées d'un détachement du régiment des gardes, pour contenir la foule du peuple, qui pourrait, par son indiscrétion, empêcher l'opération du miracle[1].

Comme le faisait remarquer astucieusement Voltaire il y a deux siècles et demi, la puissance démonstrative d'un spectacle public est intrinsèquement associée à la nature et à la personnalité de l'assistance, la complexité de l'expérimentation publique ayant partie liée avec la difficulté de rendre la chose publique. Dans la culture de l'entreprise comme dans les sciences sociales, la notion de « représentation publique » est de plus en plus en vogue. Prenons

l'exemple des débats sur les organismes génétiquement modifiés (OGM). Derek Burke, l'ancien administrateur de l'autorité britannique compétente en matière de réglementation des aliments génétiquement modifiés, et directeur du projet de recherche britannique sur le génome, qui fut en outre, pendant un temps, président d'université, constate notamment :

> Nous les experts, nous pensions auparavant que notre seule et unique tâche consistait à dire si un nouvel aliment ou un nouveau *process* alimentaire respectait ou non les normes sanitaires et nous estimions que l'opinion publique accepterait nos recommandations avec gratitude.

Les remarques de Burke reflètent une certaine nostalgie qui imprègne l'histoire des sciences. « Les scientifiques et les experts ne font pas l'objet de la même confiance qu'autrefois. » Le respect à l'égard de la communauté scientifique a visiblement reculé ; l'opinion publique méconnaît de plus en plus les « méthodes scientifiques rigoureuses d'évaluation des risques » ; des groupes de pression (*lobbies*) instrumentalisent de plus en plus le débat public ; les scientifiques doivent renoncer à s'exprimer de manière catégorique ; quant au grand public, il doit se voir octroyer, comme jamais auparavant, la première place dans les programmes scientifiques[2].

Réfléchissons sur la dialectique saisissante de la confiance et du doute qui apparaît notamment dans le constat de Burke. Comment cette dialectique est-elle à l'œuvre ? Aucune démonstration scientifique ne pourrait fonctionner sans quelque consensus préalable. Comme le fait remarquer à juste titre Steven Shapin, les sociétés contemporaines accordent une très grande confiance à une

pléiade d'experts. La question n'est pas de se méfier des experts mais de les identifier dans telle situation donnée[3]. Un autre problème est étroitement corrélé à cet état de fait : le sentiment de nostalgie, qui nous invite à nous inquiéter de ce recul de la confiance à l'égard de la communauté scientifique. La nostalgie est une grave maladie, non une science exacte. Burke estime que les garanties des experts ne suffisent plus et que le grand public doit pouvoir avoir accès aux travaux de ces derniers. Il n'est pas le seul à émettre un tel avis. Nombre de sociologues estiment eux aussi que les sciences et les techniques ne font plus l'objet d'une confiance déférente mais d'un profond scepticisme. Ils s'appuient sur une théorie forgée de toutes pièces, selon laquelle les scientifiques amassaient autrefois des preuves, reclus dans leur laboratoire, à l'écart du grand public. Citons toutefois, à titre de comparaison, la première version de *La Richesse des nations* d'Adam Smith :

> Laissons un individu ordinaire passer honnêtement en revue tout le savoir qu'il possède concernant un domaine qui ne se borne pas aux limites étroites de sa profession, et il découvrira qu'il a acquis la quasi-totalité de ses connaissances de seconde main, tout comme il a acquis ses chaussures et ses bas auprès de ceux dont c'est le métier de fabriquer et de lancer sur le marché ce type de produits[4].

L'économie politique des Lumières postule ainsi que la quasi-totalité du savoir est acquise de seconde main, et que ce dernier émane des spécialistes. Autrement dit, pour les Lumières, il en va du marché des idées comme de celui des biens, mais la nostalgie qui imprègne aujourd'hui l'histoire des sciences passe cette vérité sous silence. Il semble donc opportun de mener une réflexion sur certains

aspects de l'histoire des expérimentations publiques pour repérer quelques conséquences politiques de la théorie fantaisiste de la confiance et de l'expérience[5].

La théorie selon laquelle l'expérimentation publique obtenait aisément dans le passé l'assentiment du grand public repose sur une conception manichéenne et simpliste de l'histoire. D'après cette théorie, il y eut autrefois un monde extraordinairement complexe, dominé par des intérêts locaux et des pouvoirs récalcitrants et, d'autre part, des savants vivant reclus dans leur laboratoire, dont les décrets étaient immédiatement acceptés par le profane. Une telle théorie en dit long sur la nostalgie qui imprègne l'histoire des sciences. En réalité, l'expérimentation publique fut d'emblée une entreprise extrêmement ardue. En mettant l'accent sur certains types importants d'expérimentations publiques, on est à même de mieux comprendre à quel point politiques publiques, savoir expérimental et autorité sociale ont toujours été étroitement corrélés. Le type d'expérimentation qui est la source la plus féconde de renseignements est le diagnostic. Le philosophe Ian Hacking a souligné l'éventail considérable des types d'expérimentations dans l'Europe du début de la période moderne, des tests aux dissections en passant par les « entreprises » et les diagnostics. Le diagnostic était tout particulièrement sémiotique. Les individus effectuant des diagnostics utilisaient ce qu'ils sentaient, voyaient ou touchaient pour émettre des hypothèses et des conjectures sur des faits qui eussent été autrement inobservables. Selon Hacking, au XVII^{e} siècle, « la mode était d'envisager tout type d'expérience comme un diagnostic[6] ».

Cette mode eut des conséquences politiques capitales. Sous la forme de l'« essai » (*assay*), l'art du diagnostic et de l'expérimentation publique joua un rôle de tout premier plan dans

les sociétés du début de la période moderne. Aujourd'hui, une histoire pertinente de la relation entre les « essais » (*assays*) effectués au début de la période moderne et la confiance investie dans le diagnostic des experts expérimentateurs fait encore défaut. Une telle histoire envisagerait très sérieusement la théorie qui veut que les institutions sociales se fondent sur des représentations publiques et que le savoir acquis lors de ces représentations est par nature public. L'objectif est d'échapper au type d'individualisme qui a prévalu dans la plupart des travaux effectués sur le savoir du début de la période moderne et des périodes ultérieures : la liberté d'expression et la possibilité de mener à bien des activités reconnues comme véridiques sont ici les questions politiques essentielles. L'histoire de la méthode expérimentale a été relatée sans qu'ait été pleinement reconnue à ce jour la dimension politique de cette entreprise[7]. En raison de cette omission, l'histoire renforce le contraste nostalgique entre scepticisme public, d'une part, et vérité scientifique obtenue dans l'isolement du laboratoire ou de l'atelier, de l'autre. Le travail de l'« essai », du dosage (*assay*) permet de comprendre les théories forgées de toutes pièces sur la fiabilité des sciences parce que les « essais » étaient, dans tous les sens du terme, des *démonstrations de force*. Ils dépendaient et produisaient tout à la fois des échantillons sous la forme de marchandises en effectuant des tests d'altération et de pureté. Ils dépendaient de et renforçaient l'autorité de l'État en effectuant de manière rituelle des taxonomies. Ils utilisaient des espaces clos et du personnel, des maîtres d'expériences et des lieux de travail et créaient simultanément les fondements juridiques du droit de la personne et du lieu de travail. La puissance d'une substance expérimentée était établie sur la base de la puissance des ressources utilisées au cours de l'essai. Les individus participant à l'essai se réunissaient parce qu'ils

manifestaient leurs désaccords à l'égard de décisions publiques (*res publicae*). Dans la loi des Douze Tables, qui constitue le fondement du droit romain, la chose (*res*) faisait tout d'abord l'objet du débat. Puis l'on passa – de manière symptomatique – de l'affaire faisant l'objet du litige à la chose à l'origine du contentieux. Ces démonstrations de force faisaient apparaître des hiérarchies puissantes et un savoir-faire habile, tout en contribuant à forger ces derniers[8].

La terminologie de l'expérimentation met en exergue les enjeux politiques de l'art d'expérimenter en public. Marqué par les *Essais* de Michel de Montaigne, Francis Bacon rédigea au début du XVII^e^ siècle une série de brèves réflexions morales en reprenant le titre choisi par son prédécesseur. Robert Boyle ne tarda pas à adapter ce type de technique littéraire à ses « essais » expérimentaux. Depuis lors, la langue anglaise établit une distinction entre l'*essay* et l'*assay*, entre le travail littéraire effectué dans le cadre de la bibliothèque ou de l'étude, d'une part, et les rudes besognes effectuées dans les ateliers, les mines et les hôtels des monnaies, de l'autre[9]. Dans d'autres langues, cette distinction est moins claire, comme le montre le couple de termes « essai / expérience » en français ou celui de « *versuch / probe* » en allemand. Mais la dichotomie à l'œuvre dans les projets expérimentaux du début de la période moderne ne se résume pas à une opposition entre écriture et expérience ou entre confiance et représentation, mais bien plutôt à une opposition entre *expérimentation* en coulisse et *démonstration* sur le devant de la scène, face à un public. Les « essayeurs » et autres expérimentateurs fabriquaient des outils dont la fiabilité était garantie et dont le fonctionnement, bien connu, permettait de tirer des conclusions fiables des résultats de l'expérience. Cette entreprise pourrait apparaître comme un acte isolé et effectué dans un espace clos ; en

maintenant la société à l'écart, les hommes de science étaient soi-disant à même d'interpréter les signes de la nature. Mais les « essayeurs » avaient leur propre scénographie sociale. Ils devaient recourir à des collaborateurs fiables et munis de bons instruments, susceptibles d'assurer le bon déroulement de l'essai ; ils recouraient également à d'autres collaborateurs qui, par leur statut et leur témoignage, pouvaient garantir que l'essai s'était bien déroulé et que son résultat ne souffrait d'aucune ambiguïté, assurant ainsi sa publicité et sa validité. Dans l'État du début de la période moderne, il existait une sorte d'expertise budgétaire : une évaluation rigoureuse des quantités était synonyme de jugement qualitatif fiable. Flammes correctement placées, équilibres chimiques, pierres de touche, doigts experts, oreilles attentives : tous ces détails étaient partie prenante de l'acte d'expérimenter. D'où la décision de Galilée, lors de la controverse sur les comètes (1619-1623), d'intituler *Saggiatore* (« l'Essayeur ») l'essai qu'il dédia au pape Urbain VIII, lequel se fit lire l'ouvrage au Vatican lors de ses repas. Au début de la période moderne, les essayeurs testaient pièces de monnaie, médicaments, tissus et allaient même jusqu'à effectuer des expériences sur les aliments et le vin pour fabriquer des poisons [10].

En prêtant attention aux circonstances dans lesquelles se déroulèrent les expérimentations publiques, on peut voir que les démonstrations de pouvoir et autres rapports de force étaient utilisés pour démontrer les puissances de la Nature et, dans le même élan, pour couper l'herbe sous le pied des expérimentateurs. Considérons notamment l'œuvre d'Otto von Guericke, ingénieux mécanicien spécialiste des pompes à vide et actif bourgmestre de sa ville natale de Magdebourg. Celle-ci fut entièrement détruite par les troupes impériales et Guericke joua un rôle important dans la reconstruction de sa ville et la relance de ses techniques

d'expérimentation. Il mit au point des techniques pour démontrer le pouvoir de ses machines et participer à la politique de l'Empire. À la suite des guerres destructrices du début du XVII^e^ siècle, la Diète de l'Empire (*Reichstag*), notamment celle qui se déroula à Ratisbonne en 1653-1654, était le principal forum politique. La Diète était un rituel d'unité de l'État, un forum de négociation politique et un lieu d'affirmation du pouvoir impérial. La Diète de Ratisbonne marqua en particulier l'échec final de l'imposition de l'autorité centrale de l'Empire par l'armée et la rédaction d'une nouvelle constitution dans un État aux prises à des querelles intestines. Les négociations sur le mode de représentation politique accompagnaient les débats sur l'ordre naturel. Guericke se servit de la Diète comme d'un forum lui permettant d'affirmer les droits de sa cité et de montrer les pouvoirs de ses machines : « Il n'est nul besoin d'entrer en conflit et de prendre les armes contre un adversaire niant la véracité d'expériences dont la fiabilité a été démontrée. » Son entreprise « n'entrait pas en guerre mais célébrait sa victoire, dans la profonde sérénité de la tranquillité ». Les expérimentations publiques de Guericke étaient ainsi conçues comme des leçons de choses au service d'une manifestation de pouvoir. Il s'agissait d'exercices bien rodés, dans lesquels un expert soi-disant isolé et démuni pouvait venir à bout de la force, en apparence écrasante, de la multitude. En manipulant avec ingéniosité l'air, les textiles et les métaux, on pouvait venir à bout de la force déployée par de nombreux chevaux, par des poids gigantesques, voire par une centaine d'hommes. L'iconographie de ces démonstrations scientifiques rend la leçon de choses très claire. Dans certaines versions des expérimentations de Guericke restituées par les jésuites, des essais pneumatiques sont effectués par des anges malicieux sous les ordres du maître. Selon le dogme catholique, ces auxiliaires angéliques étaient

particulièrement perspicaces, précis et innocents. Capables de mouvoir l'orbe terrestre lui-même au moyen d'une simple pression effectuée sur un levier, ils faisaient office de la main de Dieu. Dans la version de ses expériences que Guericke publia en 1672, la preuve de la force brute vaincue par la technique se substitue à l'image de la vanité des anges. Correctement équipé, « un enfant de douze à quinze ans peut soulever un poids extrêmement lourd ». La leçon était puissante et d'ordre cosmologique : le monde se mouvait dans un espace réellement vide et de vulgaires machines pouvaient exploiter cette vérité pour venir à bout du scepticisme et des résistances locales[11].

Les courtisans, les philosophes et les experts qui se réunissaient dans les nouveaux conseils et académies de l'Europe du début de la période moderne connaissaient les ressources que ces démonstrations de force nécessitaient. L'autorité des experts était testée dans des espaces publics aménagés à cet effet. Des mathématiciens se livraient à ce que l'on appelait communément des *disfide* (des défis) dans les églises, défis au cours desquels des démonstrateurs géomètres se disputaient la victoire. La résolution de problèmes mathématiques permettait, pensait-on, de résoudre des problèmes de nature politique. Comme dans les démonstrations de Guericke à la Diète impériale, on considérait que s'atteler à des problèmes aussi difficiles et ésotériques que celui de la quadrature du cercle constituait un moyen permettant de faire état d'une légitimité politique. Réaliser la quadrature du cercle, autrement dit construire un carré de la même surface qu'un cercle donné, était la tâche suprême pour un mathématicien, quoique totalement illusoire. Dans certains espaces publics, réaliser une telle figure se transformait en exercice de *Realpolitik*. Dans les territoires dominés par les Habsbourg, d'ingénieux mathématiciens jésuites du milieu

du XVII^e siècle comme Grégoire de Saint-Vincent et Albert Curtz proposèrent d'habiles solutions à des énigmes géométriques abstruses tout en suggérant des solutions à des problèmes insolubles mettant en jeu l'autorité de l'Empire. Ces experts religieux interprétèrent les démonstrations publiques du problème de la quadrature du cercle en adoptant l'expression de « problème autrichien » par excellence. Ce problème posait en effet le défi de réconcilier l'orbe du pouvoir temporel de l'Empire avec la ligne droite du pouvoir spirituel. Ils organisèrent alors des démonstrations de ces techniques mathématiques pour prouver l'intégrité de l'Empire et de sa dynastie régnante[12].

Les « essais » effectués par de telles institutions associaient les catégories de la nature (*physis*) et de l'art (*technè*) et l'on expérimenta aussi bien les médicaments que les modèles mathématiques et les machines. Entre 1666 et 1669, la monarchie française dépensa plus de 2 millions de livres pour doter sa nouvelle Académie des sciences.

> L'examen effectué par l'Académie tourne toujours autour de ces deux points essentiels : 1. On veille en premier lieu à ce que la machine soit effectivement nouvelle, ce qui nécessite une grande connaissance historique de toutes les machines existantes. 2. On veille par ailleurs à ce qu'une machine soit utile et facile à manipuler et, sur ce point, on mobilise toute la science de la mécanique.

L'Académie royale des sciences était une assemblée renommée, dont l'autorité était reconnue. Non seulement elle habilitait souvent l'un de ses membres à effectuer des expériences, mais autorisait aussi des membres extérieurs à tester de nouvelles machines,

soumettant ainsi de nouvelles observations et accumulant de nouveaux spécimens. L'Académie des sciences

> est devenue un tribunal volontaire auquel des individus se réfèrent directement pour obtenir un avis et elle considère que c'est un honneur de pouvoir répondre à la confiance placée en elle par le grand public[13].

Expérimenter, c'était précisément cela : être investi d'une confiance et exercer un pouvoir sur des phénomènes d'ordre temporel et spirituel. C'est ce phénomène social qui donne à la boutade de Voltaire sur les miracles sa force révélatrice. Les expérimentations publiques étaient, en effet, tout sauf des actes isolés. Leurs succès dépendaient explicitement de la force et des relations plus ou moins nombreuses entre les espaces dans lesquels les essais étaient effectués et les cercles du mécénat et du commerce, de l'ingénierie et de l'Empire.

Soient deux expérimentations effectuées à Florence au cours de l'été 1660. On pourrait être tenté de souligner les différences entre ces deux séries de tests, parce que l'une appartient à l'histoire de la diététique, tandis que l'autre appartient à celle de l'astronomie. Toutefois, ces deux séries d'« essais » ne sont rien d'autre que des diagnostics ritualisés. Toutes deux reposent sur l'exercice du pouvoir politique exercé sur les citoyens de Florence. Toutes deux ont trait à des questions de rituel et de jugement civique. Les artisans radicaux et les médecins de la cour avaient longtemps débattu de la valeur diagnostique et commerciale des produits médicamenteux. Les chimistes paracelsiens, par exemple, recommandaient l'usage de l'antimoine comme laxatif pour la plus noble des créatures, l'être humain, parce que, lorsqu'il était réchauffé, cet élément chimique

nettoyait les impuretés du plus noble des métaux, l'or. L'usage de l'antimoine servait de « parabole pour l'expérimentation sur le corps du ressuscité ». Les médicaments traditionnels et de nouvelles plantes vendues à prix d'or, importées des Amériques, avaient prétendument échoué là où les techniques de Paracelse avaient réussi. En mai 1660, le grand-duc Ferdinand II de Médicis décréta l'organisation d'un programme d'expérimentation d'une durée de huit mois visant à produire un laxatif fiable mais léger pour la cour. Plus de quarante Florentins furent conduits des rues avoisinant le palais Pitti et alimentés au palais. On leur administra le laxatif puis ils furent enfermés dans une pièce où leurs moindres faits et gestes étaient surveillés par un serviteur de la cour. Francesco Redi dirigea le programme d'analyses des excréments de ces Florentins ; les prélèvements étaient déposés dans des pots de chambre de couleurs différentes, avant d'être pesés puis analysés. Comme le rappelle à juste titre l'historien Jay Tribby, l'expérimentation déboucha au cours des années suivantes sur un mémoire rendu public, autrement dit sur un essai sur les sels laxatifs artificiels : n'y manquait qu'une référence aux crampes d'estomac des victimes[14]…

Au moment même où les médecins de la cour menaient des expériences sur les excréments des Florentins au palais Pitti, une autre pléiade d'experts expérimentait un tout autre modèle dans la longue galerie du même bâtiment. Le frère du grand-duc, Léopold de Médicis, avait reçu un livre du philosophe naturel hollandais Christian Huygens sur les formes étonnantes de Saturne, qui étaient étudiées depuis l'époque de Galilée. Huygens affirma de manière suspecte que ses télescopes avaient révélé au moins la présence d'un anneau entourant la planète, résolvant ainsi l'énigme qui se posait alors aux astronomes. Furieux, les fabricants de lunettes italiens et les jésuites français ripostèrent, vantant la qualité de leurs lentilles

et leur connaissance de l'univers. Les relations entre le grand-duché de Florence et l'Inquisition étaient en jeu. Des défis de cette sorte (*disfide*) étaient souvent assimilés à des joutes de cour, à des *cimenti della tavola*, des expérimentations effectuées au cours des repas. Tel était précisément le contexte dans lequel le *Saggiatore* de Galilée avait été écrit. Cette expérience fut conduite à nouveau au cours de l'été 1660 à l'Accademia del Cimento dont les locaux étaient situés au palais Pitti. Les expérimentateurs florentins fabriquèrent des répliques artificielles de Saturne, telle que la voyaient d'une part Huygens et d'autre part son ennemi jésuite, membre de l'Inquisition romaine. Ils placèrent tour à tour les deux modèles de Saturne au fond d'une longue galerie et les illuminèrent au moyen de quatre lampes. Puis, de nouveau, les expérimentateurs firent venir des Florentins des rues avoisinantes, non pas cette fois-ci pour être alimentés et recevoir un lavement, mais pour observer au télescope les modèles de Saturne situés à une distance de 60 pieds et pour dessiner ce qu'ils voyaient. « De nombreuses gens, parmi lesquelles se trouvaient aussi des personnes ignares [*persone idiote*], qui n'avaient pas vu la forme de ce dispositif de près, furent appelées pour l'observer .» Le fait que le profane pût voir se dérouler sous ses yeux l'ensemble des observations faites sur Saturne au cours de l'histoire, alors que la position relative du modèle annelé de Huygens ainsi que les lampes étaient déplacées, persuada les expérimentateurs que ce modèle était véridique et que celui de l'inquisiteur jésuite était entaché d'erreurs. Et – comme dans la publication finale des recettes médicinales de Francesco Redi –, aucune mention ne fut publiquement faite, dans ce cas strictement contemporain, du recrutement des expérimentateurs et des témoins, ainsi que de l'utilisation des répliques des modèles de Saturne[15]. Ces expérimentations, profondément théâtrales, étaient en réalité des

formes de pouvoir, des expériences et des preuves effectuées en marge du monde.

Le rôle de l'expérimentation fut important dans la culture publique parce que ses diagnostics favorisèrent, au début de la période moderne, l'émergence de certaines visions du monde. Considérons, par exemple, le rituel entourant le plus théâtral des spectacles du pouvoir monarchique : la cérémonie du toucher royal. Comme l'a fait remarquer Marc Bloch, le plus éminent spécialiste de ce cérémonial, ce rituel était partie intégrante d'une véritable vision du monde. Détracteurs et rivaux savaient pertinemment qu'en imitant ce cérémonial, ils mettaient en cause le pouvoir monarchique. Lors de ce rituel, les sujets du roi étaient à l'évidence des témoins directs de l'expérimentation (en public) des propriétés corporelles. En d'autres termes, la cérémonie du toucher royal reposait sur un double système de confiance et de représentation. La capacité miraculeuse du roi de droit divin de guérir les écrouelles en les touchant de ses mains était garantie par des rituels accompagnant des examens administratifs rigoureux. En Angleterre, lorsque cette pratique fut de nouveau en vogue à une période particulièrement sensible sur le plan politique (la Restauration), les scrofuleux devaient se rendre à Londres munis de « certificats de diagnostic » délivrés par les prêtres de leur paroisse. Au Bureau des chirurgiens du roi à Londres, les personnes atteintes du mal des écrouelles étaient alors examinées et recevaient une sorte de « bon ». Ce n'est qu'après s'être soumises à ces formalités administratives qu'elles rejoignaient la cérémonie, qui se déroulait au centre même du pouvoir monarchique, à Whitehall, où elles étaient environ deux cents à recevoir un « traitement ». Après le toucher royal, les patients recevaient des pièces d'or spécialement frappées pour l'occasion, après quoi ils étaient dûment examinés au cas par cas. De

tels « essais » avaient pour objectif de répondre à des questions de propriété (les propriétés des choses et les droits de propriété)[16]. C'est précisément parce que les « essayeurs » considéraient les individus et les objets expérimentés comme leur propriété, leurs « biens », que les rituels expérimentaux délimitaient les contenus du monde naturel et social.

Aujourd'hui encore, l'histoire politique ne s'est pas suffisamment penchée sur ces rituels et n'a pas assez compris le « crédit » dont jouissait l'expérimentation publique, autrement dit la confiance placée dans ces « spectacles d'expérience ». Ce n'est pas un hasard si, au moment où l'État fisco-financier vit le jour au début de la période moderne, les experts se mirent à endosser le rôle d'expérimentateurs, de « démonstrateurs », dans la sphère du commerce public. Le sociologue Richard Sennett, par exemple, affirme que le nouvel ordre social qui apparaît dans les métropoles du XVIII^e^ siècle a fait émerger la même dialectique de la soumission et de la défiance qui a fait florès dans l'approche contemporaine des technosciences. Les citoyens étaient confrontés à un dilemme : « vivre avec un étranger, ou devenir soi-même un étranger ». Au fur et à mesure que les structures hiérarchiques traditionnelles étaient ébranlées, les ressources pour juger de manière fiable étaient elles aussi remises en question. « Lorsque la hiérarchie devint une technique incertaine pour la gestion des rapports avec l'étranger, le problème de l'opinion publique se posa. » Ce fut notamment le cas dans la fabrique du savoir naturel. On tenta de remplacer les problèmes du crédit par des techniques matérielles et instrumentales[17]. Les appareils expérimentaux jouèrent un rôle capital dans la formation de la *praxis* sociale des Lumières. On considéra souvent ces machines et ces appareils comme autant de moyens permettant de diffuser les vérités ésotériques de la science

mathématique à de nombreux milieux sociaux urbains. Après avoir été nommé professeur d'astronomie et de physique à l'université de Leyde, Willem Jacob's Gravesande pouvait déclarer à Isaac Newton :

> J'ai assez bien réussi à donner le goût de votre philosophie à cette université. Comme je m'adresse à des gens qui ont fait très peu de progrès en mathématiques, j'ai été contraint de faire construire plusieurs machines pour transmettre la force des propositions dont ils n'avaient pas compris les démonstrations[18].

Il s'agissait là d'un geste habile, en vertu duquel s'inversait en quelque sorte le rapport de forces, puisque l'on passait d'une démonstration rationnelle, en apparence incompréhensible, à un acte expérimental visiblement à même de convaincre les foules[19]. La théorie selon laquelle les représentations, les « spectacles d'expériences », sont les auxiliaires de la raison doit beaucoup à l'histoire des expérimentations publiques. L'histoire de ces expérimentations montre en effet que ces actes ritualisés étaient des épreuves de force qui aidaient les expérimentateurs publics. On le voit parfaitement dans l'histoire des marchés et des empires. Les sociétés ont délibérément multiplié les liens entre expérimentations, machines et production de biens. États et marchés tirèrent alors parti des techniques expérimentales mises au point par des experts tels qu'Isaac Newton pour l'uniformisation des systèmes de frappe de monnaie à la Monnaie britannique (*Royal Mint*) ou dans le domaine des sciences publiques. Des laboratoires furent créés un peu partout en Angleterre. Le tabac fut étudié au microscope ; l'alcool devint lui aussi un produit de laboratoire. Des dispositions exceptionnelles furent prises, non seulement pour réglementer et

évaluer le commerce de ces produits, mais aussi pour jauger la qualité des analystes, en vertu d'un examen strict effectué dans le cadre d'une politique centralisée. Ces expérimentateurs et autres maîtres d'expériences furent les tout premiers « experts laborantins » à recevoir une formation professionnelle. Relater l'histoire de ces expérimentateurs dûment formés et de ces produits expérimentés, c'est relater l'histoire de la formation des techniciens et de la production systématique, quoique souvent contestée, de lieux de techniques commerciales publiques. Ces lieux sont ceux définis par l'État moderne et par ses formes d'expertise. Et, en raison des relations entre rituels publics, pouvoirs étatiques et un éventail très large de groupes d'intérêts, ces lieux sont aussi les endroits où s'expriment pour la première fois dans l'histoire de puissants lobbyistes, ces militants qui ne seraient redevables envers personne et que les experts semblent craindre et détester[20].

La tentation est, *in fine*, d'établir une véritable ligne de démarcation entre la démocratie aimablement participative des experts et l'eschatologie paranoïaque des lobbyistes. Cette tentation est d'autant plus forte qu'elle repose souvent sur un hiatus entre la nostalgie pour un passé éloigné, dominé par le concept de confiance personnelle, et un présent complexe, marqué par une « obligation de représentation ». Cette nostalgie tente d'interpréter le rôle puissant de l'expertise en niant sa place dans un monde de pouvoir et elle tente, *a contrario*, de transformer l'expertise scientifique en une sorte de secret d'État jalousement gardé et incontestable. Brossant une brillante analyse de ce phénomène, le sociologue Georg Simmel voit dans cette « jalousie éprouvée à l'égard du savoir caché » un aspect fondamental de l'action politique, notamment lorsqu'il s'agit de nouer des relations de « confiance réciproque » (*Vertrauen*)[21].

En conséquence, il y a tout lieu de penser qu'il existe une relation importante entre la notion de « confiance réciproque » et les politiques, à géométrie variable, consistant à identifier les experts. Cette relation est particulièrement forte en temps de guerre. Le terme de « démonstration » est doté, à l'évidence, de connotations militaires. Dans le jargon de Clausewitz, les « démonstrations » sont des manœuvres de diversion et de dissuasion : elles sont conçues pour détourner l'attention de l'ennemi du théâtre réel des opérations ou pour convaincre l'adversaire que l'on peut avoir recours et que l'on recourra à la force. Les campagnes militaires constituent un savant mélange de diversion et de persuasion. En mai 1945, lors d'un repas à Washington, hommes politiques et scientifiques débattirent pour savoir si une « démonstration non militaire » d'armes atomiques pourrait, ou non, mettre un terme à la guerre. Robert Oppenheimer émit des doutes sur la nature réellement dissuasive d'un tel déploiement, d'une telle épreuve de force. Mais un groupe de pression (*lobby*) de physiciens de Chicago y était vivement favorable. Ces derniers voulaient que le largage de la bombe atomique ait lieu dans des zones inhabitées – un désert ou une île reculée –, sous les yeux des représentants des Nations unies. D'autres envisageaient encore de larguer la bombe sur les forêts de séquoias japonaises ou en mer. Mais la classe politique et la communauté scientifique américaines restaient convaincues qu'aucune démonstration de force technique, « la pétarade dans un désert » d'Oppenheimer, pour reprendre l'expression employée, ne serait à même de mettre un terme à la Seconde Guerre mondiale. Il convient de constater que le rôle de la confiance publique est fondamental dans ce type de débat. Les physiciens de Chicago affirmèrent à ce propos :

> Il sera très difficile de persuader le monde de faire confiance à une nation qui a été capable de préparer en secret et de larguer soudain une arme aussi aveugle que la bombe A, et par ailleurs mille fois plus destructrice que toutes les autres bombes conçues à ce jour[22].

Les simples citoyens et les experts furent de nouveau amenés à réfléchir sérieusement sur la pertinence de la doctrine de la dissuasion nucléaire à l'occasion des célébrations du cinquantième anniversaire du largage de la bombe A, au moment, précisément, où Enola Gay rejoignait le Musée national de l'air et de l'espace (NASM) de la Smithsonian Institution, à Washington. Les débats sur l'exposition, organisée pour la première fois en 1995, puis en 2003, dans une scénographie moins encline au repentir, montrent à quel point les concepts de confiance et de dissuasion, de « représentation », jouent un rôle capital dans le domaine nucléaire. Le général Jack Dailey, l'actuel directeur du NASM, indique que la nouvelle exposition a pour objectif de « présenter les faits tels qu'ils se sont produits et de permettre au grand public d'interpréter ces faits dans le cadre des convictions qui leur sont propres ». Décider d'un commun accord si ces faits ont été correctement présentés dépend précisément de ce que l'on entend par « convictions communes ». Une régression bien connue apparaît à la croisée des chemins, entre démonstration publique et confiance publique[23]. Il faut renoncer à certaines formes de nostalgie si l'on veut mieux comprendre l'histoire des sciences – une histoire dominée par un monde protéiforme d'actes ritualisés, dans lequel des expérimentations et des diagnostics furent effectués en accord avec le droit et l'État. Ces actes définissaient simultanément le rôle de la technique et de la nature, de la société et de l'univers. En aucun cas,

il n’exista un monde hermétiquement clos (celui de la communauté scientifique), dont les décrets étaient acceptés avec déférence par le profane ; de la même façon, il n’y eut pas non plus de monde ouvert dans lequel tout un chacun était invité à débattre. L’histoire des expérimentations et de l’expertise n’a pas toujours su comment relier ces théories montées de toutes pièces aux « démonstrations », aux rituels, aux commissions et aux Diètes. Mais si l’histoire des sciences le faisait, on ne serait plus partagés entre « l’impétuosité et l’indiscrétion » (Voltaire), entre ces deux personnages curieusement opposés que sont, d’une part, l’adepte de la théorie du complot et, d’autre part, le consommateur respectueux.

Notes

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

1. John Milton, *Paradise Regained* (1671), ch. IV. Nous citons le texte de Milton dans la traduction de Louis Vaucher (*Le Paradis reconquis ou la Tentation de Jésus au désert*, Paris, J. Cherbuliez, 1859).
2. Joseph Spence, *Observations, Anecdotes and Characters of Books and Men*, éd. par James M. Osborn, 2 vol., Oxford, Clarendon Press, 1966 (1re éd. Londres, 1820), vol. I, p. 462.
3. Première Épître aux Corinthiens (13), La Bible de Jérusalem, trad. fr. sous la dir. de l'École biblique de Jérusalem, nouv. éd. rev. et corr., Paris, Éditions du Cerf, 1998, p. 1932.
4. Andrew Ramsay, *A Plan of Education for a Young Prince*, Londres, printed for J. Wilford, 1732, p. III ; extrait du *Fog's Weekly Journal*, 195, 29 juillet 1732, in King's College Cambridge, Keynes MS 129 (N). En juin 1729, Conduitt suggéra déjà qu'un mémorial artistique pour Newton soit élevé « près de la mer ». Voir Francis Haskell, « The apotheosis of Newton in art », in Robert Palter (dir.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton*, Londres / Cambridge (MA), MIT Press, 1970, p. 302-321, en particulier p. 315.
5. Patricia Fara, *Newton* : *The Making of Genius*, Londres, Picador, 2003, p. 206-207 ; W.K. Thomas et Warren U. Ober, *A Mind Forever Voyaging* : *Wordsworth at Work Portraying Newton and science*, Edmonton, University of Alberta Press, 1989, p. 41 ; Frank E. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton*, Londres, Muller, 1980 (1re éd. Londres, 1968), p. 389.
6. William Stukeley, « Memoirs of Sir Isaac Newton's life », in Rob Iliffe, Milo Keynes et Rebekah Higgitt (dir.), *Early Biographies of Isaac Newton* : *1660-1885*, Londres, Pickering & Chatto, 2006, p. 250-251 ; Edmond Halley, « *Philosophiae naturalis principia mathematica.* Autore Is. Newton », *Philosophical Transactions*, 16, 1688, p. 291-297, en particulier p. 291.

7. Rob Iliffe, « “Is he like other men ?” The meaning of the *Principia* and the author as idol », in Gerald M. Maclean (dir.), *Literature, Culture and Society in the Stuart Restoration*, Cambridge, Cambridge University Press, 1995, p. 159-178 ; Jan Golinski, « The secret life of an alchemist », in John Fauvel, Raymond Flood, Michael Shortland *et al.* (dir.), *Let Newton Be !*, Oxford, Oxford University Press, 1988, p. 147-168 ; Steven Shapin, « “The mind is its own place” : Science and solitude in seventeenth-century England », *Science in Context*, 4, 1990, p. 191-218, en particulier p. 204-206.
8. Charles W.J. Withers, *Placing the Enlightenment* : *Thinking Geographically About the Age of Reason*, Chicago, University of Chicago Press, 2007, p. 45-61 ; David Lambert, Luciana Martins et Miles Ogborn, « Currents, visions and voyages : Historical geographies of the sea », *Journal of Historical Geography*, 32, 2006, p. 479-493, en particulier p. 485 ; à comparer avec Greg Dening, *Islands and Beaches*, Honolulu, University Press of Hawaii, 1980, p. 129-130 et 157-161, et Id., *Beach Crossings* : *Voyaging Across Times, Cultures, and Self*, Philadelphie, University of Pennsylvania Press, 2004, p. 16-18 et 270.
9. Steven Shapin, *A Social History of Truth* : *Civility and Science in Seventeenth-Century England*, Chicago, University of Chicago Press, 1994, p. 243-247. Pour le « travail d’équipe » dans la fabrication des *Principia*, voir Domenico Bertoloni Meli, *Thinking with Objects* : *The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2006, p. 256 et 285.
10. Boris Hessen, « The social and economic roots of Newton’s *Principia* », in *Science at the Crossroads* : *Papers Presented to the International Congress of the History of Science and Technology Held in London June 29th to July 3rd, 1931 by the Delegates of the USSR*, présenté par Joseph Needham, avec une nouvelle introduction de P.G. Werskey, Londres, Frank Cass & Co., 1971, p. 147-212, en particulier p. 171.
11. Pour les sources ibériques de Bacon, voir Juan Pimentel, *Testigos del mundo* : *Ciencia, literatura y viajes en la Ilustración*, Madrid, Marcial Pons Historia, 2003, p. 55-57 et 91-93 ; Jorge Cañizares-Esguerra, *Nature, Empire and Nation* : *Explorations of History of Science in the Iberian World*, Stanford, Stanford University Press, 2006, p. 14-23. Concernant les réseaux jésuites, voir Steven J. Harris, « Confession building, long-distance networks, and the organization of Jesuit science », *Early Science and Medicine*, 1, 1996, p. 287-318.
12. Rob Iliffe, « “Those whose business it is to cavill” : Newton’s anti-Catholicism », in James E. Force et Richard H. Popkin (dir.), *Newton and Religion* : *Context, Nature and Influence*, Dordrecht, Kluwer Academic, 1999, p. 97-120, en particulier p. 112-117 ; Carlos Ziller Camenietzki, « Baroque science between the Old and the New World : Father Kircher and his colleague Valentin Stansel », in Paula Findlen (dir.), *Athanasius Kircher* : *The Last Man Who Knew Everything*, New York, Routledge, 2004, p. 311-328.
13. Michèle Fogel, *Les Cérémonies de l’information dans la France du XVI^e^ au XVIII^e^ siècle*, Paris, Fayard, 1989 ; John Brewer, *The Sinews of Power* : *War, Money and the*

English State, 1688-1783, New York, Knopf, 1989, chap. 8, « Public knowledge and private interest : The State, lobbies and the politics of information » ; Larry Stewart, *The Rise of Public Science* : *Rhetoric, Technology and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992 ; Id., « Global pillage : Science, commerce and empire », in Roy Porter (dir.), *The Cambridge History of Science*, t. IV : *Eighteenth-Century Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 2008, p. 825-844.

14. Christopher A. Bayly, *Empire and Information* : *Intelligence Gathering and Social Communication in India, 1780-1870*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, p. 5 ; Peter Burke, *A Social History of Knowledge from Gutenberg to Diderot*, Cambridge, Polity Press, 2000, p. 25 ; Withers, *Placing the Enlightenment*, *op. cit.*, p. 50-57.

15. Jerome Friedman, *Miracles and the Pulp Press During the English Revolution*, Londres, UCL Press, 1993, p. 239-253 ; Joad Raymond, *Pamphlets and Pamphleteering in Early Modern Britain*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003, p. 324-341 ; William Burns, *An Age of Wonders* : *Prodigies, Politics and Providence in England, 1657-1727*, Manchester, Manchester University Press, 2002, p. 57-96. Pour une histoire des *coffee houses*, voir Markman Ellis, *The Coffee House* : A *Cultural History*, Londres, Weidenfeld & Nicolson, 2004, p. 68-74.

16. Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 194-211 ; Brendan Dooley, *The Social History of Skepticism* : *Experience and Doubt in Early Modern Culture*, Baltimore, Johns Hokins University Press, 1999, p. 12-18.

17. Pamela H. Smith et Paula Findlen (dir.), *Merchants and Marvels* : *Commerce, Science and Art in Early Modern Europe*, New York, Routledge, 2002 ; Londa Schiebinger et Claudia Swan (dir.), *Colonial Botany* : *Science, Commerce and Politics in the Early Modern World*, Philadelphie, University of Pennsylvania Press, 2005 ; James Delbourgo et Nicholas Dew (dir.), *Science and Empire in the Atlantic World*, New York, Routledge, 2008. Sur l'importance des compétences dans l'usage crédible des instruments sur des sites lointains, voir Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 245-247 ; Jed Buchwald, « Discrepant measurements and experimental knowledge in the early modern era », *Archive for History of Exact Sciences*, 60, 2006, p. 565-649, en particulier p. 583 et 590.

18. Newton à Aston, 18 mai 1669, *Correspondence of Isaac Newton*, éd. par Herbert W. Turnbull, Jonathan F. Scott, A. Rupert Hall et Laura Tilling, 7 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1959-1977, vol. I, p. 9-11 ; Richard S. Westfall, *Never at Rest* : *A Biography of Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980, p. 193 ; Manuel, *A Portrait of Isaac Newton*, *op. cit.*, p. 162-164 ; Hessen, « The social and economic roots of Newton's *Principia* », art. cit., p. 171-173. Sur les gazettes et l'intérêt de Newton pour Francesco Giuseppe Borri, voir Noel Malcolm, « Robert Boyle, Georges Pierre des Clozets, and the asterism : A new source », *Early Science and Medicine*, 9, 2004, p. 293-306, en particulier p. 304-306. Sur les autres conseils aux voyageurs concernant les marées et la géographie,

voir *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton* : *A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*, éd. par A. Rupert Hall et Marie Boas Hall, Cambridge, Cambridge University Press, 1962, p. 392-393.

19. Harold J. Cook, « Time's bodies : Crafting the preparation and preservation of naturalia », in Smith et Findlen (dir.), *Merchants and Marvels*, *op. cit.*, p. 223-247 ; Id., *Matters of Exchange* : *Commerce, Medicine and Science in the Dutch Golden Age*, New Haven, Yale University Press, 2007, p. 267-276, 325-329 ; Steven J. Harris, « Long-distance corporations, big science and the geography of knowledge », *Configurations*, 6, 1988, p. 269-304.

20. « An introductory discourse containing the whole history of navigation », in *A Collection of Voyages and Travels*, printed for Awnsham & John Churchill, 6 vol., 1704-1732, Londres, vol. II, p. LXXIII ; Sarah Irving, *Natural Science and the Origins of the British Empire*, Londres, Pickering & Chatto, 2008, p. 92-93.

21. Thomas Sprat, *History of the Royal Society* : *For the Improving of Natural Knowledge*, Londres, printed by T.R. for J. Martyn & J. Allestry, printers to the Royal Society, 1667, p. 406-407.

22. Mark Govier, « The Royal Society, slavery and the island of Jamaica, 1660-1700 », *Notes and Records of the Royal Society*, 53, 1999, p. 203-217 ; Larry Stewart, « The edge of utility : Slaves and smallpox in the early eighteenth century », *Medical History*, 29, 1985, p. 54-70 ; James Delbourgo, « Slavery in the cabinet of curiosities : Hans Sloane's atlantic world » < www.britishmuseum.org/PDF/Delbourgo%20essay.pdf > (relevé en juin 2008).

23. Stewart, « Global pillage : Science, commerce and empire », in Porter (dir.), *The Cambridge History of Science*, *op. cit.*, p. 828-838 ; Daniel Carey, « Compiling nature's history : Travellers and travel narratives in the early Royal Society », *Annals of Science*, 54, 1997, p. 269-292, en particulier p. 275-276.

24. Robert Markley, *The Far East and the English Imagination, 1600-1730*, Cambridge, Cambridge University Press, 2006, p. 241-268.

25. Chamberlayne à Newton, 2 février 1704, *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. IV, p. 412 ; Fontaney à Sloane, 1er août 1704, British Library, MS Sloane 4039, fº 334 ; Flamsteed à Pound, 15 novembre 1704, et Pound à Flamsteed, 7 juillet 1705, in *Correspondence of John Flamsteed*, éd. par Eric Forbes, Lesley Murdin et Frances Willmoth, 3 vol., Bristol, Institute of Physics Publications, 1995-2002, vol. III, p. 100-101 et 182. Voir Rodney Needham, *Exemplars*, Berkeley, University of California Press, 1985, p. 75-116.

26. Frank Lestringant, *Une sainte horreur, ou le Voyage en eucharistie, XVIe-XVIIIe siècle*, Paris, PUF, 1996, p. 311-330. La littérature secondaire sur Psalmanazar est vaste : Needham donne une bibliographie dans *Exemplars*, *op. cit.*, p. 229-240 ; parmi les études récentes : Susan Stewart, « Antipodal expectations : Notes on the Formosan "ethnography" of George Psalmanazar », in George W. Stocking (dir.), *Romantic*

Motives : *Essays on Anthropological Sensibility*, Madison, University of Wisconsin Press, 1989, p. 44-73 ; Richard Swiderski, *The False Formosan* : *George Psalmanazar and the Eighteenth-Century Experiment of Identity*, San Francisco, Mellen Research University Press, 1991 ; Peter Mason, *The Lives of Images*, Londres, Reaktion, 2001, p. 56-79 ; Michael Keevak, *The Pretended Asian* : *George Psalmanazar's Eighteenth-Century Formosan Hoax*, Detroit, Wayne State University Press, 2004.

27. Krzysztof Pomian, *Collectionneurs, amateurs et curieux. Paris, Venise, XVI^e^-XVIII^e^ siècle*, Paris, Gallimard, 1987, p. 53-64 et 125-135 ; Barbara M. Benedict, *Curiosity* : *A Cultural History of Early Modern Inquiry*, Chicago, University of Chicago Press, 2002, p. 52-70 ; Margaret'Espinasse, « The decline and fall of Restoration science », *Past and Present*, 14, 1958, p. 71-89. La dédicace de Jurin se trouve dans *Philosophical Transactions*, 34, 1727, sign. A2. Concernant les effets de la censure au sein de la Royal Society durant cette période, voir John L. Heilbron, *Physics at the Royal Society During Newton's Presidency*, Los Angeles, William Andrews Clark Memorial Library, University of California, 1983, p. 35-40 ; Mordechai Feingold, « Mathematicians and naturalists : Sir Isaac Newton and the Royal Society », in Jed Z. Buchwald et I. Bernard Cohen (dir.), *Isaac Newton's Natural Philosophy*, Cambridge (MA), MIT Press, 2001, p. 77-102.

28. Peter Dear, *Discipline and Experience* : *The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1995, p. 246-248 sur le rôle plus faible de la philosophie mathématique sur les modèles de confiance ; Harris, « Long-distance corporations, big science and the geography of knowledge », art. cit., p. 274 sur Grew et Newton. Pour le don, par Newton, du *Musaeum societatis regalis* de Grew à son collège en 1680, voir *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, éd. par John Edleston, Londres / Cambridge, John W. Parker / John Deighton, 1850, p. XXIX.

29. *Bernhard Vareni Geographia generalis*, éd. par Isaac Newton, Cambridge, ex officina Joann. Hayes, sumptibus Henrici Dickinson, 1672 ; William Warntz, « Newton, the Newtonians and the *Geographia Generalis Varenii* », *Annals of the Association of American Geographers*, 74, 1989, p. 165-191, en particulier p. 177. On peut comparer au rôle prévu de Newton dans l'enquête sur le méridien anglais de John Adams en 1681 : Thomas Birch, *History of the Royal Society of London*, 4 vol., Londres, printed for A. Millar, 1756-1757, vol. IV, p. 65-66 (19 janvier 1681).

30. J.S. Peters, « The Bank, the press and the return to nature », in John Brewer et Susan Staves (dir.), *Early Modern Conceptions of Property*, Londres, Routledge, 1996, p. 365-388 ; Westfall, *Never at Rest*, *op. cit.*, p. 623 et 862. Sur les réseaux de communication, voir Burke, *A Social History of Knowledge*, *op. cit.*, p. 149-176 ; Ian K. Steele, *The English Atlantic, 1675-1740* : An *Exploration of Communication and Community*, Oxford, Oxford University Press, 1986.

31. Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 2 vol., Londres, printed for B. Motte, 1729, vol. II, p. 200-201, et Id., *The Principia*, éd. par I. Bernard Cohen et Anne Whitman, Berkeley, University of California Press, 1999,

p. 793. Voir Derek T. Whiteside, « Before the *Principia* : The maturing of Newton's thoughts on dynamical astronomy, 1664-1684 », *Journal of the History of Astronomy*, 1, 1970, p. 5-19 ; I. Bernard Cohen, *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge, Cambridge University Press, 1971, p. 132-135 ; Westfall, *Never at Rest*, *op. cit.*, p. 443-444, 458-462 et 861-862.

32. Edmond Halley, « An historical account of the trade winds and monsoons », *Philosophical Transactions*, 16, 1686, p. 153-168, en particulier p. 153, et cf. *ibid.*, p. 149. Concernant le commentaire éditorial de Halley sur le retard dans la publication, voir Halley à Newton, 7 juin 1686, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. II, p. 434. Voir D.W. Waters, « Captain Edmond Halley FRS, Royal Navy, and the practice of navigation », in Norman J.W. Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants* : *A Longer View of Newton and Halley*, Berkeley, University of California Press, 1990, p. 171-202, en particulier p. 180-182 ; Alan Cook, *Edmond Halley* : *Charting the Heavens and the Seas*, Oxford, Clarendon, 1998, p. 190-196.

33. *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, éd. par Derek T. Whiteside, 8 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1967-1981, vol. VI, p. 51 n. 62 ; cf. *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, *op. cit.*, p. 279. L'éditeur de Newton Roger Cotes résuma la méthode dans les années 1710 : voir Roger Cotes, « Aestimatio errorum in mixta mathesi », in Id., *Harmonia mensurarum… accedunt alia opuscula mathematica*, éd. par Robert Smith, Cambridge, 1722, p. 1-22 (seconde pagination), en particulier p. 22.

34. Robert Hooke, *Lectures and Collections*, Londres, printed by J. Martyn, printer to the Royal Society, 1678, p. 22 (sur Hevelius et les autres à propos des comètes).

35. « God placed the planets at different distances from the Sun so that each one might, according to the degree of its density, enjoy a greater or smaller amount of heat from the Sun », Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 814 n. (livre 3, proposition 8, corollaire 5 de la 1re éd. de 1687, manquante dans les éditions ultérieures).

36. Newton à Flamsteed, 12 janvier 1685, et Flamsteed à Newton, 27 janvier 1685, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. II, p. 413 et 414 ; Isaac Newton, *A Treatise of the System of the World*, Londres, printed for F. Fayram, 1728 (mais écrit en 1685), p. 29 ; Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 228-229 et 812-814. Les sources incluent Christiaan Huygens, *Systema Saturnium*, La Haye, ex typographia Adriani Vlacq, 1659, p. 47 ; Edmond Halley, « A correction of the theory of the motion of the satellite of Saturn », *Philosophical Transactions*, 13, 1683, p. 82-88, en particulier p. 86 ; Jean-Charles Gallet, « Système des apparences de Saturne », *Journal des sçavans*, 12 juin 1684, p. 197-201, en particulier p. 199. Cf. Albert van Helden, *Measuring the Universe* : *Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley*, Chicago, University of Chicago Press, 1985, p. 146-148.

37. Newton à Flamsteed, 16 février et 29 juin 1695, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. IV, p. 87-88 et 134. Voir Nick Kollerstrom et Bernard Yallop, « Flamsteed's Lunar data, 1692-5, sent to Newton », *Journal for the History of Astronomy*, 26, 1985, p. 237-246 ; Buchwald, « Discrepant measurements and experimental knowledge in the early modern era », art. cit., p. 603 ; Westfall, *Never at Rest*, *op. cit.*, 540-548 ; Iliffe (dir.), *Early Biographies*, *op. cit.*, p. XXII-XXIV, 15-17 et 186.

38. Derek T. Whiteside, « Newton's Lunar theory : From high hope to disenchantment », *Vistas in Astronomy*, 19, 1975-1976, p. 317-328. Sur le retrait du nom de Flamsteed, voir *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. IV, p. 3-4 et 277 ; Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica* : The Third Edition w*ith Variant Readings*, éd. par Alexandre Koyré et I. Bernard Cohen, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1972, p. 658 ; Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 869-871. Pour les échecs sur la théorie lunaire de Newton, voir Curtis Wilson, « The Newtonian achievement in astronomy », in René Taton et Curtis Wilson (dir.), *Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics, Part A* : *Tycho Brahe to Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 233-274, en particulier p. 262-267.

39. Eric J. Aiton, « The contributions of Newton, Bernoulli and Euler to the theory of the tides », *Annals of Science*, 11, 1955, p. 206-223 (210-213) ; Nick Kollerstrom, « Newton's Lunar mass error », *Journal of the British Astronomical Association*, 95, 1985, p. 151-153 ; Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 238-246.

40. Newton, *A Treatise of the System of the World*, *op. cit.*, p. 71-72 ; cf. Id., *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 835.

41. Cotes à Newton, 28 février 1712 ; Newton à Cotes, 9 avril et 22 avril 1712 ; Cotes à Newton, 26 avril 1712, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 243-244, 263-269, 273-275 et 278-280. Pour le travail de Cotes en tant qu'éditeur, voir Westfall, *Never at Rest*, *op. cit.*, p. 703-712 et 729-751 ; Cohen, *Introduction to Newton's Principia*, *op. cit.*, p. 227-235 ; Ronald Gowing, *Roger Cotes, Natural Philosopher*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983, p. 14-19 et 80-108.

42. Moray à Bruce, 8 janvier 1658, in *Letters of Sir Robert Moray to the Earl of Kincardine, 1657-1673*, éd. par David Stevenson, Aldershot, Ashgate, 2007, p. 113 ; Robert Moray, « A relation of some extraordinary tydes in the West-Isles of Scotland », et Id., « Considerations and enquiries concerning tides », *Philosophical Transactions*, 1, 1665-1666, p. 53-55 et 298-301 ; Margaret Deacon, *Scientists and the Sea, 1650-1900. A Study of Marine Science*, Londres, Academic Press, 1971, p. 72. Les notes de Newton sur les marées dans les Hébrides et sur le Danube sont réimprimées dans *Certain Philosophical Questions* : *Newton's Trinity Notebook*, éd. par J.E. McGuire et M. Tamny, Cambridge, Cambridge University Press, 1983, p. 404 ; les notes de Newton sur les rapports des marées sont dans les *Philosophical Transactions* à la Cambridge University Library, MS Add 3958.1, f° 9.

43. Margaret Deacon, « Founders of marine science in Britain : The work of the early fellows of the Royal Society », *Notes and Records of the Royal Society*, 20, 1965, p. 28-50, en particulier p. 32.

44. Moray, « Considerations and enquiries », art. cit., p. 299-301, et Id., « Patternes of the tables proposed to be made for observing of tides », *Philosophical Transactions*, 1, 1665-1666, p. 311-313 ; Deacon, *Scientists and the Sea, 1650-1900*, *op. cit.*, p. 99-100. Les commentaires de Newton contre Wallis sont à la Cambridge University Library, MS Add 3958, f° 12v°, et ses notes sur l'observatoire, f° 13r°.

45. John Wallis, « An essay exhibiting his hypothesis about the flux and reflux of the sea », *Philosophical Transactions*, 1, 1665-1666, p. 263-281, en particulier p. 275-276 ; Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 258-266 ; Dear, *Discipline and Experience*, *op. cit.*, p. 230-231.

46. Joseph Childrey, « A letter containing some animadversions upon the Reverend Dr John Wallis's hypothesis about the flux and reflux of the sea », *Philosophical Transactions*, 5, 1670, p. 2061-2068, en particulier p. 2062-2063 ; Moray, « Considerations and enquiries », art. cit., p. 297-298 ; Deacon, *Scientists and the Sea, 1650-1900*, *op. cit.*, p. 102-108.

47. *Ibid.*, p. 101-102 ; Samuel Sturmy, « An account of some observations made this present year in Hong-Road within four miles of Bristol », *Philosophical Transactions*, 3, 1668, p. 813-817, en particulier p. 815.

48. John Flamsteed, « A correct tide table », *Philosophical Transactions*, 13, 1683, p. 10-15, en particulier p. 12 ; William Molyneux, « An account of the course of tides in the port of Dublin », *Philosophical Transactions*, 16, 1686, p. 192-193 ; Flamsteed à Newton, 26 septembre 1685, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. II, p. 427-428 ; Flamsteed à Molyneux, 17 janvier 1687 et à Towneley, 12 février 1687, in *Correspondence of John Flamsteed*, *op. cit.*, vol. II, p. 328 et 338.

49. Edmond Halley, « The true theory of the tides », *Philosophical Transactions*, 19, 1697, p. 445-457 (écrit en 1686) ; Halley à James II, 1687, British Library 537.g.30, p. 12 ; Cook, *Edmond Halley* : *Charting the Heavens and the Seas*, *op. cit.*, p. 284-290 ; Waters, « Captain Edmond Halley », in Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants*, *op. cit.*, p. 196.

50. Newton, *A Treatise of the System of the World*, *op. cit.*, p. 76, 78 et 87-88 ; Id., *Principia*, éd. par Koyré et Cohen, *op. cit.*, p. 667 n.

51. Newton à Cotes, 26 février 1712 ; Cotes à Newton, 28 février 1712 ; Newton à Cotes, 8 avril 1712, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 241, 243 et 264 ; Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 875. Pour la manipulation des données sur les marées, voir Richard S. Westfall, « Newton and the fudge factor », *Science*, 176, 1973, p. 751-758, en particulier p. 756-758.

52. David E. Cartwright, « The Tonkin tides revisited », *Notes and Records of the Royal Society*, 57, 2003, p. 135-142.

53. Davenport à James, 12 juillet 1678, in « Tonqueen journal register » (1678-1679), British Library, India Office Records, MS G/12/17, part 5, f° 233v° ; cf. « Tonqueen journal transcrib'd by Francis Davenport », British Library, MS Sloane 998, f^os 49-50, « Mr. Henry Baker's account of the flowing of the waters » (1673) : « I found the waters to have no course with the Moon. »

54. Birch, *History of the Royal Society of London*, *op. cit.*, vol. IV, p. 289-290 (23 avril 1684) ; Anna Winterbottom, « Producing and using the *Historical Relation of Ceylon* : Robert Knox, the East India Company and the Royal Society », *British Journal for the History of Science*, 42, 2009, p. 515-538.

55. Francis Davenport, « An account of the course of the tides at Tonqueen », avec Edmond Halley, « The theory of them at the barr of Tonqueen », *Philosophical Transactions*, 14, 1684, p. 677-688 ; l'original du récit de Davenport, qui diffère significativement dans quelques passages, est à la British Library, India Office Records, MS G/12/17, f° 237-240.

56. William Dampier, *A New Voyage Round the World*, Londres, J. Knapton, 1698, « Discourse of the trade-winds, breezes, storms, seasons of the year, tides and currents of the Torrid Zone throughout the world » (pagination séparée), p. 97.

57. Francis Davenport, *An Historical Abstract of Mr. Samuel White*, Londres, 1688 ; George White, *Reflections on a Scandalous Paper Entituled the Answer of the East-India Company to Two Printed Papers of Mr. Samuel White Together with the True Character of Mr. Francis Davenport*, Londres, 1689, la citation à la page 3. Voir Maurice Collis, *Siamese White*, Londres, Faber & Faber, 1936, p. 95-99 et 293-296 : Davenport « became one of the best-known names in London ».

58. Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 839 ; I. Bernard Cohen, « The first explanation of interference », *American Journal of Physics*, 8, 1940, p. 99-106, en particulier p. 105-106 ; Cartwright, « The Tonkin tides revisited », art. cit., p. 137-138.

59. Henry Guerlac, *Newton on the Continent*, Ithaca, Cornell University Press, 1981, p. 34-40 ; Sara Schechner Genuth, *Comets, Popular Culture, and the Birth of Modern Cosmology*, Princeton, Princeton University Press, 1997, p. 133-142 ; James A. Ruffner, « Newton's *Propositions on Comets* : Steps in transition, 1681-1684 », *Archive for History of Exact Sciences*, 54, 2000, p. 259-277.

60. Flamsteed à Towneley, 11 mai 1677, in *Correspondence of John Flamsteed*, *op. cit.*, vol. I, p. 552.

61. Juan Casanovas et Philip C. Keenan, « The observations of comets by Valentin Stansel, a seventeenth century missionary in Brazil », *Archivum Historicum Societatis Iesu*, 62, 1993, p. 319-330, en particulier p. 327-328 ; Carlos Ziller Camenietzki, « The celestial pilgrimages of Valentin Stansel, Jesuit astronomer and missionary in Brazil », in Moti Feingold (dir.), *The New Sciences and Jesuit Science* : *Seventeenth Century Perspectives*, Dordrecht, Kluwer Academic, 2003,

p. 249-270, en particulier p. 260-262, et Id., « Baroque science between the Old and the New World », in Findlen (dir.), *Athanasius Kircher*, *op. cit.*, p. 316.

62. Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 927.

63. Robert Hooke, « A discourse of the nature of comets » (1682), in *Posthumous Works of Robert Hooke*, éd. par Richard Waller, Londres, printed by Sam. Smith & Benj. Walford, 1705, p. 149-190, en particulier p. 151.

64. Buchwald, « Discrepant measurements », art. cit., p. 592 ; Halley à Flamsteed, 7 juin 1679, in Eugene Fairfield MacPike, *Hevelius, Flamsteed and Halley* : *Three Contemporary Astronomers and Their Mutual Relations*, Londres, Taylor & Francis, 1937, p. 86-87.

65. Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 272-287 ; Halley à Molyneux, 27 mars 1686, in *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, éd. par Eugene Fairfield MacPike, Oxford, Clarendon Press, 1932, p. 60.

66. *Ibid.*, p. 48-52 ; Cook, *Edmond Halley* : *Charting the Heavens and the Seas*, *op. cit.*, p. 105-115.

67. *Ibid.*, p. 119-124, 127 ; *Correspondence of John Flamsteed*, *op. cit.*, vol. I, p. 751-755 ; Eric G. Forbes, « The comet of 1680-1681 », in Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants*, *op. cit.*, p. 312-323, en particulier p. 313-317 ; *The Gresham Lectures of John Flamsteed*, éd. par Eric G. Fobers, Londres, Mansell, 1975, p. 107. Voir Susanna Åkerman, *Queen Christina of Sweden and Her Circle* : *The Transformation of a Seventeenth Century Philosophical Libertine*, Leiden, E.J. Brill, 1991, p. 176-177 et 254-255.

68. Cook, *Edmond Halley* : *Charting the Heavens and the Seas*, *op. cit.*, p. 147-151 ; Westfall, *Never at Rest*, *op. cit.*, p. 402-407.

69. Les notes de Newton sur les comètes sont à la Cambridge University Library, MS Add 4004, f^os^ 101-105, et MS Add 3965.14, f^os^ 581-582 et 613-614, décrites dans Ruffner, « Newton's *Propositions on Comets* », art. cit. ; Flamsteed à Newton, 25 septembre 1685 (premier brouillon), in *Correspondence of John Flamsteed*, *op. cit.*, vol. II, p. 247-248 ; une dernière version est dans la *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. II, p. 421-428. Cf. *The Gresham Lectures of John Flamsteed*, *op. cit.*, p. 113.

70. Allan Chapman, « Edmond Halley's use of historical evidence in the advancement of science », *Notes and Records of the Royal Society of London*, 48, 1994, p. 167-191.

71. Newton à Crompton pour Flamsteed, 28 février 1681, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. II, p. 340-347 ; cf. Flamsteed à Halley, 17 février 1681, in *Correspondence of John Flamsteed*, *op. cit.*, vol. I, p. 760-763 ; Flamsteed à Crompton pour Newton, 7 mars 1681, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. II, p. 348-355. Pour les nouveaux brouillons impliquant les observateurs français et romains, aussi bien qu'Hill et Babington, voir Newton, *Principia*, éd. par Koyré et Cohen, *op. cit.*, p. 717-732.

72. Brattle à Flamsteed, 4 juin 1681, in *Correspondence of John Flamsteed*, *op. cit.*, vol. I, p. 789-790. Concernant Brattle et Flamsteed, et leur manque d'information directe sur Newton, voir Rick Kennedy, « Thomas Brattle and the scientific provincialism of New England, 1680-1713 », *The New England Quarterly*, 63, 1990, p. 584-600.

73. Peter Broughton, « Arthur Storer of Maryland : His astronomical work and his family ties with Newton », *Journal of the History of Astronomy*, 19, 1988, p. 77-96, en particulier p. 92 ; Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 913 et 927.

74. *Posthumous Works of Robert Hooke*, *op. cit.*, p. 154 ; Newton, *Principia*, éd. par Koyré et Cohen, *op. cit.*, p. 730.

75. Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 287 ; Edmond Halley, *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, Londres, printed for John Senex, 1705, p. 19 et 21-22.

76. Pour le dilemme français, voir *Bernhardi Varenii Geographia generalis*, éd. par James Jurin, Cambridge, Typis academicis. Impensis Cornelii Crownfield, 1712, appendice (pagination séparée), p. 3-4 et 40 ; Warntz, « Newton, the Newtonians and the *Geographia Generalis Varenii* », art. cit., p. 188.

77. Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 827.

78. Cotes à Newton, 16 et 23 février 1712, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 226 et 233.

79. Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 829 ; John Olmsted, « The scientific expedition of Jean Richer to Cayenne », *Isis*, 34, 1942, p. 117-128 ; John Greenberg, *The Problem of the Earth's Shape from Newton to Clairaut : The Rise of Mathematical Science in Eighteenth-Century Paris and the Fall of "Normal" Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1995, p. 7.

80. Nicholas Dew, « *Vers la ligne* : Circulating measurements around the French Atlantic », in Delbourgo et Dew (dir.), *Science and Empire in the Atlantic World*, *op. cit.*, p. 53-72, en particulier p. 60-64, et Id., « Scientific travel in the Atlantic world : The French expedition to Gorée and the Antilles, 1681-1683 », *British Journal for the History of Science*, 43, 2010, p. 1-17. Voir Jean Richer, « Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Caïenne », in *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de Sa Majesté, pour perfectionner l'astronomie et la géographie. Avec divers traitez astronomiques*, Paris, Imprimerie royale, 1693, pagination séparée, p. 36-37. Les notes de Newton sur Cayenne, Richer et Halley sont conservées dans le « Waste Book », Cambridge University Library, MS Add 4004, f° 101v° ; cf. Cook, *Edmond Halley : Charting the Heavens and the Seas*, *op. cit.*, p. 116. Il possédait aussi une copie du *Recueil d'observations*.

81. Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 832. Cf. Justel à Oldenburg, 16 août 1673, in *Correspondence of Henry Oldenburg*, éd. par A. Rupert Hall et Marie Boas Hall, 13 vol., Madison, University of Wisconsin Press, 1965-1986, vol. X, p. 152-153, cité in Dew, « *Vers la ligne* : Circulating measurements

around the French Atlantic », in Delbourgo et Dew (dir.), *Science and Empire in the Atlantic World*, *op. cit.*, p. 70 n. 29.

82. *Ibid.*, p. 61-62 ; Jean-Dominique Cassini, « Les éléments de l'astronomie vérifiez par M. Cassini par le rapport de ses tables aux observations de M. Richer », in *Recueil d'observations*, *op. cit.*, p. 55.

83. Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 830-832.

84. *Ibid.*, p. 831 ; cf. Cotes à Newton, 23 et 28 février 1712, et Newton à Cotes, 26 février et 3 avril 1712, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 234-237, 240-243 et 261. Pour le bricolage, voir Greenberg, *The Problem of the Earth's Shape from Newton to Clairaut*, *op. cit.*, p. 14.

85. Cotes à Newton, 23 février 1712, et Newton à Cotes, 26 février 1712, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 235 et 240-241 ; Jacques Cassini, « Des observations faites aux Indes occidentales en 1704, 1705 et 1706 par le P. Feuillée, Minime, mathématicien du Roy, comparées à celles qui ont été faites en même temps à l'Observatoire royal », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1709, p. 5-16, en particulier p. 7-8 ; Newton, *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 830.

86. Louis Feuillée, *Journal des observations physiques, mathématiques et botaniques faites par ordre du Roi sur les côtes orientales de l'Amérique méridionale et aux Indes occidentales*, 2 vol., Paris, chez P. Giffart, 1714-1725, vol. II, p. 326-327 et 407-408. Une copie de Newton sur ce travail se trouve à la bibliothèque de Trinity College, Cambridge, NQ.10.23 et 24.

87. Amédée-François Frézier, *Relation du voyage de la mer du Sud aux côtes du Chily et du Pérou fait pendant les années 1712, 1713 et 1714*, Paris, chez J.-C. Nyon, 1716, p. VIII, et Id., *A Voyage to the South-sea*, Londres, printed for Jonah Bowyer, sign. A2r, imprimés aux mêmes pages, voir Halley à Bowyer, 6 avril 1717. Cf. Jorge Cañizares-Esguerra, *How to Write the History of the New World* : *Histories, Epistemologies, and Identities in the Eighteenth-Century Atlantic World*, Stanford, Stanford University Press, 2001, p. 15-17 ; Neil Safier, *Measuring the New World* : *Enlightenment Science and South America*, Chicago, University of Chicago Press, 2008, p. 215-217.

88. Feuillée, *Journal des observations physiques, mathématiques et botaniques*, *op. cit.*, vol. II [publié en 1725], p. 86-87 ; Amédée-François Frézier, *Relation du voyage de la mer du Sud*, Paris, Nyon, 1732 (2e éd.), « Réponse à la préface critique du livre intitulé *Journal des observations* », pagination séparée, p. 8.

89. Charles-Marie de La Condamine, *Journal du voyage fait par ordre du roi à l'équateur*, 2 vol., Paris, Imprimerie royale, 1751, vol. I, p. 162 ; Safier, *Measuring the New World*, *op. cit.*, p. 39-43. Cf. Antonio Lafuente et Antonio Mazuecos, *Los caballeros del punto fijo* : *ciencia, política y aventura en la expedición geodésica hispanofrancesa al virreinato del Perú en el siglo XVIII*, Barcelone / Madrid, Ediciones del Serbal / CSIC, 1987, p. 19-22 et 172-186 ; Mary Terrall, « Representing the Earth's shape :

The polemics surrounding Maupertuis'expedition to Lapland », *Isis*, 83, 1992, p. 218-237 ; Rob Iliffe, « "Aplatisseur du monde et de Cassini" : Maupertuis, precision measurement and the shape of the Earth in the 1730s », *History of Science*, 31, 1993, p. 335-375 ; Id., « Ce que Newton connut sans sortir de chez lui : Maupertuis et la forme de la Terre dans les années 1730 », *Histoire et mesure*, 8, 1993, p. 355-386.

90. Stephen M. Stigler, « Eight centuries of sampling inspection : The Trial of the Pyx », *Journal of the American Statistical Association*, 72, 1977, p. 493-500, en particulier p. 497-498 ; Newton au Trésor, décembre 1710, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 82-90 ; Newton, brouillon de *Chronology of Ancient Kingdoms Amended*, New College Oxford, MS 361.1 B, f^os^ 104-106, et Id., *Chronology of Ancient Kingdoms Amended*, Londres, printed for J. Tonson, J. Osborn & T. Longman, 1728, p. 52-54 ; Frank E. Manuel, *Isaac Newton Historian*, Cambridge, Cambridge University Press, 1963, p. 55.

91. Isaac Newton, New College Oxford, MS 361.3, f^o^ 25 ; voir Manuel, *Isaac Newton Historian*, *op. cit.*, p. 87 ; Kenneth J. Knoespel, « Newton in the school of time : The *Chronology of Ancient Kingdoms Amended* and the crisis of seventeenth-century historiography », *The Eighteenth Century*, 30, 1989, p. 19-41, en particulier p. 24-28.

92. Rob Iliffe, « Apocalyptic hermeneutics and anti-idolatry in the work of Isaac Newton and Henry More », in Richard Popkin et James Force (dir.), *The Books of Nature and Scripture*, Dordrecht, Kluwer Academic, 1994, p. 55-88 ; Robert S. Westfall, « Isaac Newton's *Theologia gentiles origines philosophicae* », in W. Warren Wagar (dir.), *The Secular Mind* : *Transformations of Faith in Modern Europe*, New York, Holmes & Meier, 1982, p. 15-34 ; citation d'Isaac Newton, « The original of religions », Jewish National Library, MS Yahuda 41, f^o^ 4r^o^.

93. Newton, *A Treatise of the System of the World*, *op. cit.*, p. 1-4.

94. Alexandre Koyré propose une traduction légèrement différente de la deuxième règle ou hypothèse présente au début du troisième livre des *Principia*, dans la seconde édition de l'œuvre (1713) : « C'est pourquoi les causes des effets naturels du même genre sont les mêmes. Comme de la respiration de l'homme et dans la bête ; de la descente des pierres en *Europe* et en *Amérique* ; de la lumière dans le feu de cuisine et dans le Soleil ; de la réflexion de la lumière sur la Terre et dans les planètes. » Voir sur ce point Alexandre Koyré, « Pour une édition critique des œuvres de Newton », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 8, 1955, p. 19-37. [NdT]

95. Newton, *Mathematical Principles*, *op. cit.*, vol. II, p. 202 ; Id., *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 198-200 et 795. Cf. Cohen, *Introduction to Newton's Principia*, *op. cit.*, p. 240-245 ; Alexandre Koyré, *Newtonian Studies*, Chicago, University Press of Chicago, 1968 (1^re^ éd. Cambridge, 1965), p. 265-266. Pour les règles de l'eschatologie, voir Maurizio Mamiani, « To twist the meaning : Newton's *Regulae philosophandi* revisited », in Buchwald et Cohen (dir.), *Isaac*

Newton's Natural Philosophy, *op. cit.*, p. 3-14. Pour une application aux mesures atlantiques, voir Dew, « *Vers la ligne* : Circulating measurements around the French Atlantic », in Delbourgo et Dew (dir.), *Science and Empire in the Atlantic World*, *op. cit.*, p. 54-56. Einstein est vu comme offrant « un guide pour voyageurs » in Bruno Latour, « A relativistic account of Einstein's relativity », *Social Studies of Science*, 18, 1988, p. 3-44.

96. Newton, *Mathematical Principles*, *op. cit.*, vol. II, p. 390-391 et Id., *Principia*, éd. par Cohen et Whitman, *op. cit.*, p. 941-942 ; voir Larry Stewart, « Seeing through the *Scholium* : Religion and reading Newton in the eighteenth century », *History of Science*, 34, 1996, p. 123-165 ; Stephen Snobelen, « "God of Gods, and Lord of Lords" : The theology of Isaac Newton's *General Scholium* to the *Principia* », *Osiris*, 16, 2001, p. 169-208.

97. Newton, « The end of the world day of Judgment and world to come », Jewish National Library, MS Yahuda 9.2, f^os^ 139-140, en partie transcrite dans Frank E. Manuel, *The Religion of Isaac Newton*, Oxford, Clarendon Press, 1974, p. 101-102. Une source des remarques de Newton se trouve dans Joseph Glanvill, *A Philosophical Endeavour Towards the Defence of the Being of Witches and Apparitions*, Londres, printed for J. Grismond for James Collins, 1666, p. 9. Ce texte fut republié en 1681 après la mort de Glanvill sous le titre de *Saducismus triumphatus* par Henry More. Newton réaffirmera plus tard qu'il y a des « êtres intelligents supérieurs à nous qui gouvernent ces révolutions des corps célestes » : voir R. Iliffe (dir.), *Early Biographies*, *op. cit.*, p. 165.

98. James Thomson, *To the Memory of Sir Isaac Newton* (1727), lignes 7 et 190-195 ; voir Fara, *Newton*, *op. cit.*, p. 59-97.

99. « Her pealing organ was my neighbour too ; / And from my pillow, looking forth by light / Of moon or favouring stars, I could behold / The antechapel where the statue stood / Of Newton with his prism and silent face, / The marble index of a mind for ever / Voyaging through strange seas of Thought, alone », William Wordsworth, *The Prelude* (1850), livre 3, vers 60-63. Voir Thomas et Ober, *A Mind Forever Voyaging*, *op. cit.*, p. 47-48.

CHAPITRE 2
Halley, Delisle et la fabrique de la comète

1. Henry Pemberton, *View of Sir Isaac Newton's Philosophy*, Londres, printed by S. Palmer, 1728, p. 191-194.
2. Isaac Newton, *De motu corporum in gyrum*, in *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton* : *A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*, éd. par A. Rupert Hall et Marie Boas Hall, Cambridge, Cambridge University Press, 1962, p. 283-285 ; *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, éd. par Derek T. Whiteside, 8 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1967-1981, vol. VIII, p. 57-61 et 58-60 n. 79.
3. Newton à Flamsteed, 19 septembre 1685, in *Correspondence of Isaac Newton*, éd. par Herbert W. Turnbull, Jonathan F. Scott, A. Rupert Hall et Laura Tilling, 7 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1959-1977, vol. II, p. 419 ; « System of the world », in *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*, trad. par Andrew Motte (1729), éd. par Florian Cajori, Berkeley, University of California Press, 1934, p. 615, 619 et 629 ; *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VI, p. 483 n. 7, p. 485 n. 10 et p. 498-504.
4. Halley à Newton, 28 septembre, 15 octobre 1695, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. IV, p. 171-172 et 176-178 ; *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, éd. par Eugene Fairfield MacPike, Londres, Taylor & Francis, 1937, p. 238 ; Royal Society, Gregory MS 247, f° 62.
5. Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica* : The Third Edition w*ith Variant Readings*, éd. par Alexandre Koyré et I. Bernard Cohen, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1972, p. 721, 733 et 756.
6. Sara Schechner Genuth, « Comets, teleology, and the relationship of chemistry to cosmology in Newton's thought », *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, 10, 1985, p. 31-65 ; Simon Schaffer, « Newton's comets and the transformation of astrology », in Patrick Curry (dir.), *Astrology, Science and Society* : *Historical Essays*, Woodbridge, Boydell Press, 1987, p. 219-243.
7. Voltaire, *Elements of Sir Isaac Newton's Philosophy*, Londres, 1738, p. 329.
8. Pierre Louis Moreau de Maupertuis, *Lettre sur la comète* (1742), puis in Id., *Œuvres*, nouv. éd., 4 vol., Lyon, J.-M. Bruyset, 1768, vol. III, p. 241 et 247.
9. Edmond Halley, « Astronomiae cometicae synopsis », *Philosophical Transactions*, 24, 1705, p. 1897 ; Stephen P. Rigaud, *Some Account of Halley's "Astronomiae cometicae synopsis"*, Oxford, private printing, 1835, p. 3-23 ; Peter Broughton,

« The first predicted return of comet Halley », *Journal for the History of Astronomy*, 16, 1985, p. 125.

10. David Gregory, *Elements of Physical and Geometrical Astronomy*, 2 vol., Londres, printed for J. Nicholson, 1715, vol. II, p. 901. Pour la datation de ces affirmations, voir Michael A. Hoskin, « The first edition of Halley's *Synopsis* », *Journal for the History of Astronomy*, 16, 1985, p. 133.
11. Edmond Halley, *Astronomical Tables with Precepts Both in English and Latin*, Londres, printed for W. Innys, 1752, sign. Llll3-Tttt4. Voir Jérôme Lalande, *Tables astronomiques de M. Halley*, Paris, Durand, 1759, p. 39-40 et 54-56.
12. Halley à Newton, 7 (?) octobre 1695, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. IV, p. 173-175 ; Newton, *Principia*, éd. par Koyré et Cohen, *op. cit.*, p. 588 ; Lalande, *Tables astronomiques*, *op. cit.*, p. 105 ; Halley, *Astronomical Tables*, *op. cit.*, sign. Ssss.
13. Pierre Le Monnier, *La Théorie des comètes où l'on traite du progrès de cette partie de l'astronomie*, Paris, G. Martin, 1743, p. 85.
14. Jean-Baptiste Delambre, *Astronomie théorique et pratique*, 3 vol., Paris, Veuve Courcier, 1814, vol. III, p. 202 ; Id., *Histoire de l'astronomie du XVIII^e^ siècle*, Paris, Bachelier, 1827, p. 673.
15. *Ibid.*, p. 466.
16. *Ibid.*, 677 ; Nicolas Louis de La Caille, *Leçons élémentaires d'astronomie*, Paris, les Frères Guérin, 1746, p. 243.
17. Delambre, *Histoire de l'astronomie*, *op. cit.*, p. 196 et 757.
18. Richard Dunthorne, « Letter concerning comets », *Philosophical Transactions*, 47, 1751, p. 281-288.
19. Seymour L. Chapin, « The Academy of Sciences during the 18th century : An astronomical appraisal », *French Historical Studies*, 5, 1968, p. 388 n. 52, qui discute le travail de Bailly et Messier.
20. La lettre de Thomas Stevenson est imprimée dans le *London Magazine*, 27, novembre 1758, p. 564 ; elle est citée dans Craig B. Waff, « The first international Halley watch », in Norman J.W. Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants* : *A Longer View of Newton and Halley*, Berkeley, University of California Press, 1990, p. 373-411.
21. Lalande, *Tables astronomiques*, *op. cit.*, p. 105-108.
22. *Ibid.*, p. 104, 103 et 108 ; les travaux d'Euler sont attaqués par Lalande dans son « Mémoire sur les équations séculaires », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1757 (mais publié en 1762), p. 413.
23. Lalande, *Tables astronomiques*, p. 114-115 et 121.
24. Voir René Taton, « Clairaut et le retour de la comète de Halley », in Ernst Berninger et Karin Figala (dir.), *Arithmos-Arrythmos* : *Skizzen aus der*

Wissenschaftsgeschichte, Munich, Minerva, 1979, p. 253-274 ; Thomas L. Hankins, *Jean d'Alembert* : *Science and Enlightenment*, Oxford, Oxford University Press, 1970, p. 30-42.

25. Roger Long, *Astronomy in Five Books*, 2 vol., Cambridge, printed for the author, 1742-17[84], vol. II, p. 562-563.

26. Pemberton, *View of Sir Isaac Newton's Philosophy*, *op. cit.*, p. 243-246 ; Richard Yate, « A new theory of comets », *Gentleman's Magazine*, 13, 1744, p. 193-195 ; Sir John Clerk à Roger Gale, 8 avril 1742, in *Family Memoirs of the Rev. William Stukeley, M.D.*, éd. par W.C. Lukis, 3 vol., Durham, 1882-1887, vol. III (1887, Publications of the Surtees Society n° 80), p. 435-436 ; Colin Maclaurin à John Clerk, 23 mars 1742, in *Collected Letters of Colin Maclaurin*, éd. par Stella Mills, Nantwich, Shiva, 1982, p. 87 ; Long, *Astronomy*, *op. cit.*, vol. II, 563 ; James Hill, *Urania*, Londres, 1754, *s.v.* « Comets » ; John L. Cowley, *Discourse on Comets*, Londres, printed for the author, at the Academy, 1757, p. 36 ; Richard Turner, *A View of the Heavens*, Londres, printed for S. Crowder & S. Gamidge, 1765, p. 20.

27. Craig B. Waff, « Comet Halley's first expected return : English apprehensions 1755-1758 », *Journal for the History of Astronomy*, 17, 1986, p. 1-37, qui aborde le cas de Wesley ; voir également *Gentleman's Magazine*, 47, 1777, p. 133 n., et Simon Schaffer, « Authorized prophets : Comets and astronomers after 1759 », *Studies in Eighteenth Century Culture*, 17, 1987, p. 45-74.

28. Lalande, *Tables astronomiques*, *op. cit.*, p. 102.

29. Leonhard Euler, « A letter… concerning the gradual approach of the Earth to the Sun », *Philosophical Transactions*, 46, 1749-1750, p. 205.

30. *Ibid.* ; voir également Id., « A letter concerning the contraction of the orbits of the planets », *Philosophical Transactions*, 46, 1749-1750, p. 356-359, l'original se trouve dans la lettre d'Euler à Wettstein, 20 décembre 1749, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie des Wissenschaften im Briefwechsel Leonhard Eulers*, éd. par Adolf P. Juskevic et Eduard Winter, 3 vol., Berlin, Akademie Verlag, 1959-1976, vol. III, p. 286-288. Les travaux d'Euler sur la résistance de l'éther sont discutés dans Curtis Wilson, « Perturbations and Solar tables from Lacaille to Delambre », *Archive for History of Exact Sciences*, 22, 1980, p. 93-103. Les travaux de Halley sur l'accélération du mouvement lunaire sont discutés dans Simon Schaffer, « Halley's atheism and the end of the world », *Notes and Records of the Royal Society*, 32, 1977, p. 33. Voir Craig B. Waff, « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee : The establishment and reception of Newton's inverse square law 1697-1749 », thèse de doctorat, Baltimore, Johns Hopkins University, 1975, chap. 2 et n. 140.

31. César-François Cassini, *Observations de la comète de 1531 pendant le temps de son retour en 1682 faites par Jean-Dominique Cassini*, Paris, Durand, 1759, p. 12-13 ; Jacques Cassini, « De la comète qui a paru aux mois de février, de mars et d'avril de cette année 1737 », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1737 (mais publié en 1740), p. 176.

32. Halley à Hooke, 29 mai 1681, in *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, *op. cit.*, p. 51. Voir Jean-Dominique Cassini, *Observations et réflexions sur la comète qui a paru au mois de décembre 1680 et aux mois de janvier, février et mars de cette année 1681*, Paris, Michallet, 1681, p. 19-25 ; Halley à Hooke, 15 janvier 1681, in *Correspondence and Papers of Edmond Halley*, *op. cit.*, p. 48-50.

33. Jean-Dominique Cassini, « Comparaison des premières observations de la comète du mois d'avril de cette année 1702 », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1702 (mais publié en 1704), p. 128. Voir Id., « Réflexions sur les observations [de Maraldi] », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1702 (mais publié en 1704), p. 111.

34. Id., « Du retour des comètes », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1699 (mais publié en 1702), p. 40.

35. Sur Montmort, voir Henry Guerlac, *Newton on the Continent*, Ithaca, Cornell University Press, 1981, p. 134-135 ; Taylor à Keill, 29 avril 1719, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VII, p. 37 ; Conti à des Maizeaux, 1er avril 1718, *ibid.*, vol. VI, p. 441 n. 8 ; Brook Taylor, « Réponse à la dissertation de M. Montmort », *Europe savante*, 9, 1719, p. 83-134, cité in *ibid.*, vol. VII, p. 150 n. 10.

36. Jacques Cassini, « Du mouvement véritable des comètes à l'égard du Soleil et de la Terre », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1731 (mais publié en 1733), p. 346.

37. Bernard de Fontenelle, « Histoire », *ibid.*, 1725 (mais publié en 1727), p. 97.

38. Pierre Bouguer, « De la détermination de l'orbite des comètes », *ibid.*, 1733 (mais publié en 1735), p. 332.

39. Pierre Brunet, *Introduction des théories de Newton en France au XVIIIe siècle, avant 1738*, Paris, Blanchard, 1931 ; H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris, Félix Alcan, 1930 ; A. Rupert Hall, « Newton in France : A new view », *History of Science*, 13, 1975, p. 233-250 ; Guerlac, *Newton on the Continent*, *op. cit.* ; John Greenberg, « Mathematical physics in eighteenth century France », *Isis*, 77, 1986, p. 59-78.

40. Voir Seymour L. Chapin, « Expeditions of the French Academy of Sciences, 1735 », *Navigation*, 3, 1952, p. 120-122 ; Claude J. Nordmann, « L'expédition de Celsius et Maupertuis en Laponie », *Cahiers d'histoire mondiale*, 10, 1966, p. 74-97 ; Harcourt Brown, « From London to Lapland : Maupertuis, Johann Bernoulli I, and *La Terre applatie* », in Charles G.S. Williams (dir.), *Literature and History in the Age of Ideas*, Columbus, Ohio State University Press, 1975, p. 69-94 ; René Taton, « Sur la diffusion des théories newtoniennes en France : Clairaut et le problème de la figure de la Terre », *Vistas in Astronomy*, 22, 1978, p. 485-509.

41. Pierre Louis Moreau de Maupertuis, *Discours sur les différentes figures des astres*, Paris, Imprimerie royale, 1732 ; Id., « Sur la figure de la Terre, et sur les moyens que l'astronomie et la géographie fournissent pour la déterminer », *Mémoires de*

l'Académie royale des sciences, 1733 (mais publié en 1735), p. 153-164. Voir John L. Greenberg, « Geodesy in Paris in the 1730s », *Historical Studies in Physical Science*, 13, 1983, p. 239-260 ; Id., « Degrees of longitude and the Earth's shape », *Annals of Science*, 41, 1984, p. 151-158.

42. Clairaut à Euler, 19 février, 12 mai 1744, in Leonhard Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. V, éd. par Adolf P. Juskevic et René Taton, Bâle, Birkhäuser, 1980, p. 152 et 155.

43. Jérôme Lalande, *Bibliographie astronomique*, Paris, Imprimerie royale, 1803, p. 821.

44. Le Monnier, *La Théorie des comètes*, *op. cit.*, p. 85.

45. Sur Louville, voir Hall, « Newton in France », art. cit., p. 239-241 ; Guerlac, *Newton on the Continent*, *op. cit.*, p. 132-134. Le texte de référence est celui de Jacques Eugène d'Allonville, chevalier de Louville, « Construction et théorie des tables du Soleil », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1720 (mais publié en 1722), p. 35-84.

46. Pour la biographie de Delisle, voir Jean-Paul Grandjean de Fouchy, « Éloge de M. de l'Isle », Éloges des académiciens de l'Académie royale des sciences, morts depuis l'an 1744, Paris, Brunet, 1761, et Id., « Histoire », *Histoire de l'Académie royale des sciences… avec les mémoires de mathématique et de physique… tirez des registres de cette académie*, Paris, 1768 (mais publié en 1770), p. 167-183 ; Harry Woolf, *The Transits of Venus* : *A Study of 18th Century Science*, Princeton, Princeton University Press, 1959, p. 23-32 ; Roger Jaquel, « L'astronome français J.-N. Delisle et Christfried Kirch », in *Comptes rendus du 97e Congrès national des sociétés savantes. Nantes. Section des sciences*, t. I : *Histoire des sciences et des techniques*, Paris, Bibliothèque nationale, 1976, p. 407-432 ; Nina I. Nevskaia, « J.-N. Delisle (1688-1768) », *Revue de l'histoire des sciences*, 26, 1973, p. 289-313. Pour ses premiers travaux sur la géodésie, voir Observatoire de Paris, ms. 17.7 (« Mémoire sur la grandeur et la figure de la Terre »), discuté dans Greenberg, « Geodesy in Paris », art. cit., p. 243-246 et 259-260. La carrière de Delisle au Collège royal est retracée par Roger Hahn, « Les observatoires en France au XVIIIe siècle », in René Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIIIe siècle*, Paris, Hermann, 1964, p. 653-658.

47. Delisle à Rast, 16 juillet 1718, Observatoire de Paris, ms. B1.103 ; Delisle à Teinturier, 7 février 1717, *ibid.*, B1.55 ; Delisle à Réaumur, 27 avril 1717, *ibid.*, B1.58.

48. Joseph-Nicolas Delisle, « Tables du Soleil et de la Lune suivant la théorie de Mr. Newton dans la 2e édition de ses *Principes* calculés en 1716 », Observatoire de Paris, ms. A2.9, no 23. Ces affirmations sont discutées dans Craig B. Waff, « Newton and the motion of the Moon : An essay review », *Centaurus*, 21, 1977, p. 64-75.

49. Delisle à Teinturier, 7 février 1717, Observatoire de Paris, ms. B1.55 ; voir Joseph-Nicolas Delisle, « Expériences sur la lumière et les couleurs », in *Mémoires pour servir à l'histoire et au progrès de l'astronomie*, Saint-Pétersbourg, Imprimerie de l'Académie des sciences, 1738, p. 205-266.
50. Delisle à Teinturier, 7 février 1717, Observatoire de Paris, ms. B1.55 ; Delisle à Réaumur, 27 avril 1717, *ibid.*, B1.58.
51. Delisle à Bignon, 11 juin 1717, *ibid.*, B1.59 ; cf. Delisle à Bignon, Bibliothèque nationale, ms. fr. 22227, f^os^ 214-217, sur le coût des instruments pour l'Observatoire.
52. Delisle à Chardeloup, 3 octobre 1718, Observatoire de Paris, ms. B1.62 ; cf. Delisle à Rast, 19 juin, 16 juillet 1718, *ibid.*, B1.94 et B1.103.
53. Rast à Delisle, 1^er^ juillet 1718, *ibid.*, B1.97.
54. Des Maizeaux à Conti, 11 septembre 1720, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VII, p. 100.
55. Louville, « Construction et théorie des tables du Soleil », art. cit. ; Delisle, Observatoire de Paris, ms. 17.7 (« Mémoire sur la grandeur et la figure de la Terre »).
56. Delisle à Blumentrost, 8 septembre 1721, Observatoire de Paris, ms. B2.26. Cf. Euler à Blumentrost, 9 novembre 1726, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 28. Blumentrost fut le premier président de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg (1725-1733) ; voir Alexander Lipski, « The foundation of the Russian Academy of Sciences », *Isis*, 44, 1953, p. 349-355.
57. Delisle à Struyk, 8 mars 1722, Observatoire de Paris, ms. B2.33.
58. Struyk à Delisle, 4 avril 1722, *ibid.*, B2.34 ;'s Gravesande à Newton, 24 juin 1718, in A. Rupert Hall, « Further Newton correspondence », *Notes and Records of the Royal Society*, 37, 1982, p. 26.
59. Delisle à Struyk, mai 1722, Observatoire de Paris, ms. B2.39 ; Joseph-Nicolas Delisle, « Histoire et détails de ma correspondance avec les missionnaires (astronomes) de la Chine et des Indes orientales », *ibid.*, E1.13. La nouvelle table des comètes de Struyk est « Viae cometarum, secundum hypothesin quae statuit illos cursu suo Parabolam circa Solem describere », *Philosophical Transactions*, 46, 1749-1750, p. 89-92. Pour le transit de Mercure, voir la lettre de Delisle à Halley, 27 décembre 1723, Observatoire de Paris, ms. B2.79 ; Joseph-Nicolas Delisle, « Sur le dernier passage attendu de Mercure dans le Soleil », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1723 (mais publié en 1725), p. 105-110 ; Woolf, *The Transits of Venus*, *op. cit.*, p. 28-30.
60. Delisle à Teinturier, 7 février 1717, Observatoire de Paris, ms. B1.55.
61. Delisle à Newton, 22 mars 1724, et Newton à Delisle, avril 1724, in *Correspondence of Isaac* Newton, *op. cit.*, vol. VII, p. 269-270 et 271.
62. Delisle à Halley, 5 juin 1724, Observatoire de Paris, ms. B2.110.

63. Delisle à Halley, 21 décembre 1724, *ibid.*, B2.131 ; Delisle à Newton, 10 décembre 1724, *ibid.*, B2.130, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VII, p. 296-297. Les notes de Delisle sur les comètes, qui utilisent les cartes de Senex et le catalogue de Flamsteed, sont conservées à l'Observatoire de Paris, ms. 14.8, n° 42a.

64. Sur Varignon, voir Guerlac, *Newton on the Continent*, *op. cit.*, p. 147-163 ; Eric J. Aiton, *The Vortex Theory of Planetary Motions*, Londres, Macdonald, 1972, p. 196-200 ; A. Rupert Hall, *Philosophers at War* : *The Quarrel Between Newton and Leiniz*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980, p. 239-241. Sur les premiers contacts avec la Royal Society, voir la lettre de Varignon à Newton, 7 novembre 1714, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VI, p. 187-188.

65. Newton à Delisle, janvier 1725, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VII, p. 301.

66. Jombert à Newton, 12 septembre 1725, *ibid.*, p. 332-333 ; Delisle à De Moivre, 21 décembre 1724, Observatoire de Paris, ms. B2.132.

67. Louville à Delisle, 23 mai 1724, *ibid.*, MDD B2.102 ; Delisle à Newton, 10 décembre 1721, *ibid.*, B2.130.

68. Souciet à Delisle, septembre 1724, *ibid.*, B2.126 ; Delisle à Halley, 21 décembre 1724, *ibid.*, B2.131.

69. Delisle à Nicasius Grammaticus, octobre 1724, *ibid.*, B2.128.

70. *Ibid.*

71. *Ibid.* ; Delisle à De Moivre, 21 décembre 1724, *ibid.*, B23.132 ; Delisle à Innys, 21 décembre 1724, *ibid.*, B2.133 ; Jombert à Newton, in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. VII, p. 332-333.

72. Delisle à Horrebow, 1er janvier 1725, Observatoire de Paris, ms. B2.137 ; Horrebow à Delisle, 12 février 1725, *ibid.*, B2.142.

73. Jean Marchand, « Le départ en mission de l'astronome J.-N. Delisle pour la Russie », *Revue d'histoire diplomatique*, 43, 1929, p. 1-26.

74. Nevskaia, « J.-N. Delisle (1688-1768) », art. cit., p. 292 ; Valentin Boss, *Newton and Russia* : *The Early Influence, 1698-1796*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1972, p. 133.

75. Delambre, *Histoire de l'astronomie*, *op. cit.*, p. 673.

76. Le Monnier, *La Théorie des comètes*, *op. cit.* ; Jean-Philippe Löys de Chéseaux, *Traité de la comète qui a paru en décembre 1743 et en janvier, février et mars 1744*, Lausanne et Genève, M.-M. Bousquet, 1744 ; *Edmundi Hallei astronomi dum viveret Regii tabulae astronomicae*, éd. par John Bevis, Londres, printed for William Innys, 1749 ; Joseph-Nicolas Delisle, *Lettres sur les tables astronomiques de M. Halley*, 2 vol., Paris, Imprimerie de Quillau, 1749. Sur les erreurs présentes dans ces tables, voir Woolf, *The Transits of Venus*, *op. cit.*, p. 52-53. Sur la compilation par Delisle de données sur la comète de Halley, voir Josette Alexandre, « La comète de

Halley à travers les ouvrages et manuscrits de l'Observatoire de Paris », *Isis*, 77, 1986, p. 81-82.

77. Joseph-Nicolas Delisle, *Discours lu dans l'assemblée publique de l'Académie des sciences le 2 mars 1728*, Saint-Pétersbourg, Imprimerie de l'Académie des sciences, 1728, p. 2. Sur la lutte acharnée menée par Delisle contre le programme français de géodésie, voir Id., « A proposal for the measurement of the Earth in Russia », *Philosophical Transactions*, 40, 1738, p. 27-49 ; Greenberg, « Geodesy in Paris », art. cit., p. 255-256. Sur Delisle et l'Académie, voir Nina I. Nevskaia, « Joseph-Nicolas Delisle I Petersburgskaia Akademia Nauk », *Voprosy istorii astronomii*, 1974, p. 61-93.

78. Boss, *Newton and Russia*, *op. cit.*, p. 133.

79. Delisle, *Discours lu… le 2 mars 1728*, *op. cit.*, p. 13. En 1727, Delisle entreprit des calculs sur le trajet de la comète de 1682 en utilisant les modèles elliptiques et paraboliques de Halley ; sur ces tentatives et ces brouillons, voir Observatoire de Paris, ms. A4.11, n° 42d.

80. Nevskaia, « J.-N. Delisle (1688-1768) », art. cit., p. 292 ; cf. Lipski, « The foundation of the Russian Academy of Sciences », art. cit.

81. Jaquel, « L'astronome français J.-N. Delisle et Christfried Kirch », art. cit., p. 412 ; Henri August Omont, « Lettres de J.-N. Delisle au comte de Maurepas et l'abbé Bignon », *Bulletin de la section de géographie du Comité des travaux historiques et scientifiques*, 32, 1917, p. 130-164 ; Vera F. Gnucheva, *Geograficheskii Departament Akademii Nauk XVIII veka*, Moscou, Nauka, 1966, p. 77.

82. Delisle à Bignon, 3 janvier 1730, in Omont, « Lettres de J.-N. Delisle », art. cit., p. 157.

83. Bignon à Delisle, 27 juin 1730, *ibid.*, p. 158.

84. Euler à Delisle, 23 avril 1743, in *Relations scientifiques russo-françaises*, éd. par A.T. Grigorian et A.P. Juskevic, Moscou, Nauka, 1968, p. 162-163 (Observatoire de Paris, ms. B8.78) ; Delisle à Euler, 25 février 1743, *ibid.*, p. 159-160 (B8.74) ; Delisle à Euler, 7 septembre 1743, *ibid.*, p. 165-166 (B8.89) ; Heinsius à Euler, 22 janvier 1743, in Leonhard Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. I, éd. par Adolf P. Juskevic, Vladimir Smirnov et Walter Habicht, Bâle, Birkhäuser, 1975, p. 175, et in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 80. Les contacts d'Euler avec Delisle sont discutés dans Nina I. Nevskaia, « Euler als Astronom », in Marcel Jenni (dir.), *Leonhard Euler* : Beiträge zu L*eben und Werk*, Bâle, Birkhäuser, 1983, p. 363-371.

85. Euler à Delisle, 13 février 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 172-174 (Observatoire de Paris, ms. B8.105).

86. Delisle à Euler, 3 mars 1744, *ibid.*, p. 176-180 (B8.109).

87. Euler à Delisle, 8 septembre 1744, *ibid.*, p. 190-193 (B9.8).

88. Delisle à Euler, 23 juin 1742, *ibid.*, p. 139-143 (B8.48).

89. Sur les problèmes que Delisle rencontra à Saint-Pétersbourg, voir Euler à Schmettau, 13 décembre 1748, *ibid.*, p. 274-278 (B10.49) ; Euler à Schumacher, 30 juillet 1748, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. II, p. 139 ; d'Anville à Razumovsky, 5 août 1751, in Gnucheva, *Geograficheskii Departament*, *op. cit.*, p. 169. Les controverses impliquant Schumacher et Delisle sont discutées dans L. Schulze, « The Russification of the St. Petersburg Academy of Sciences and Arts in the eighteenth century », *British Journal for the History of Science*, 18, 1985, p. 316-317 ; James E. McClellan, *Sciences Reorganized* : *Scientific Societies in the Eighteenth Century*, New York, Columbia University Press, 1985, p. 79-80 et 242.

90. Delisle à Euler, 23 juin 1742, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 139-143 (Observatoire de Paris, ms. B8.48).

91. *Ibid.* ; cf. Delisle à Bevis, 12 juin 1742, 8 septembre 1744, Observatoire de Paris, ms. B8.38.

92. Euler à Delisle, 21 juillet 1742, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 148-153 (B8.52). Pour la diffusion de la méthode d'Euler en Allemagne, voir Euler à Krafft, 11 août 1742, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 142-143. Sur la cométographie d'Euler, voir Leonhard Euler, « Determinatio orbitae cometae qui menser Martio hujus anni 1742 potissimum fuit observatus » (1743), in Id., *Opera omnia*, série 2, vol. XXVIII, éd. par Leo Courvoisier, Zurich, Füssli, 1959, p. 29-32. Pour son utilisation des observations de Delisle, voir *ibid.*, p. 43 et 90 : « Quand, pourtant, des observations de la comète furent envoyées par le fameux Delisle, aucune autre ne semblait parvenir à atteindre un tel degré de perfection, et j'ai décidé d'en utiliser quatre pour illustrer cette méthode, qui, si elle est suffisamment précise, révélerait la véritable orbite de la comète. »

93. Delisle à Euler, 7 septembre 1743, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 165-166 (Observatoire de Paris, ms. B8.89) ; cf. Heinsius à Euler, 29 septembre, 20 octobre 1742, résumée dans Euler, *Opera omnia*, série 4A, I, *op. cit.*, p. 174, et dans *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 74-76. Les croquis faits par Heinsius de ses machines, et envoyés le 30 juin 1742, sont reproduits in *ibid.*, 69, et in *Leonhard Euler* : *Pisma k Uchenym*, éd. par T.N. Klado, Y. Kopelevic et T.A. Lukina, Moscou, Akademia Nauk, 1963, p. 83.

94. Delisle à Euler, 1er février 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 176-180 (Observatoire de Paris, ms. B8.109). Pour les problèmes au sein de l'Académie, voir Krafft à Euler, 27 octobre 1742, Euler à Kantemir (l'ambassadeur russe à Paris), 5 janvier 1743, et Heinsius à Euler, 17 décembre 1743, 4 février 1744, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 144, 126 et 87.

95. Euler à Delisle, 1er février 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 172-174 (Observatoire de Paris, ms. B8.105). Le 21 mars 1744, Euler envoya

des données sur la comète à Krafft et à Heinsius, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 88 et 151.

96. Delisle à Euler, 3 mars 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 176-180 (Observatoire de Paris, ms. B8.109).

97. *Ibid.* ; voir Heinsius à Euler, 19 mars 1744, et Euler à Heinsius, 26 mai 1744, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. I, *op. cit.*, p. 177, et in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 89 et 92. À la fin de l'année 1745, Heinsius reçut plusieurs observations britanniques de la comète de 1744, notamment celles de Peter Collinson et de Nathaniel Bliss ; voir Heinsius à Euler, 1er janvier 1746, *ibid.*, p. 101.

98. Delisle à Euler, 11 juillet 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 185-186 (Observatoire de Paris, ms. B9.1).

99. Voir, par exemple, les commentaires du professeur à Königsberg Martin Knutzen dans Benno Erdmann, *Martin Knutzen und seine Zeit* (Leipzig, 1876), reprint Hildesheim, Georg Olms, 1973, p. 123 ; Knutzen à Delisle, 13 avril 1744, Observatoire de Paris, ms. B8.117 ; Knutzen à Euler, 22 mai 1744, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. I, *op. cit.*, p. 206. Les commentaires de Messier se trouvent dans « Notice de mes comètes », Observatoire de Paris, ms. C2.19, fo 1.

100. Delisle à Euler, 11 juillet 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 196-199 (Observatoire de Paris, ms. B9.8).

101. Leonhard Euler, « Theoria motuum planetarum et cometarum » (1744), in Id., *Opera omnia*, série 2, vol. XXVIII, *op. cit.*, p. 106-107 ; Clairaut à Euler, 12 mai 1744, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. V, *op. cit.*, p. 155 ; Delisle à Euler, 22 septembre 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 196-199 (Observatoire de Paris, ms. B9.10).

102. Nevskaia, « J.-N. Delisle (1688-1768) », art. cit., 298-300. Voir Joseph Nicolas Delisle, « Rechercher ce que M. Euler a remarqué sur l'effet de la résistance de l'éther », Observatoire de Paris, ms. A4.8, no 42a ; Id., « Calculs pour l'établissement de la théorie de la comète de 1682 suivant les considérations de 1745 », Observatoire de Paris, ms. A4.11, no 42d.

103. Delisle à Euler, 11 juillet 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 185-186 (Observatoire de Paris, ms. B9.1) ; Delisle à Wagner, 22 septembre 1744, Observatoire de Paris, ms. B9.12.

104. Euler à Delisle, 8 septembre 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 190-193 (Observatoire de Paris, ms. B9.8).

105. *Ibid.*

106. Delisle à Euler, 22 septembre 1744, *ibid.*, p. 196-199 (Observatoire de Paris, ms. B9.10).

107. *Ibid.*

108. *Ibid.*, et Hjorter à Delisle, 15 août 1744, Observatoire de Paris, ms. B9.4.

109. Delisle à Euler, 22 septembre 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 190-193 (Observatoire de Paris, ms. B9.8).

110. Euler à Delisle, 31 octobre 1744, *ibid.*, p. 202-205 (Bibliothèque nationale, ms. NAF 6197 f^os^ 89-90) ; Euler à Schumacher, 10 novembre 1744, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. II, p. 75. Euler a évoqué ces conditions sur le *latus rectum* (paramètre) de l'orbite dans une lettre à Heinsius du 11 août 1742, *ibid.*, vol. III, p. 61.

111. Delisle à Euler, 16 janvier 1745, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 208-210 (Observatoire de Paris, ms. B9.20).

112. Clairaut à Euler, 23 août 1744, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. V, *op. cit.*, p. 156-159 ; Alexis Claude Clairaut, « De l'orbite de la Lune dans le système de M. Newton », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1743 (mais publié en 1746), p. 17-32, communication lue lors des sessions qui se sont déroulées entre le 13 juin et le 5 décembre 1744 ; Euler à Delisle, 8 septembre 1744, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 192 (Observatoire de Paris, ms. B9.8). Voir Waff, « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee », *op. cit.*, p. 66 n. 20 et p. 72 n. 30.

113. Leonhard Euler, « De motu nodorum Lunae » (1744), in Id., *Opera omnia*, série 2, vol. XXIII, éd. par Leo Courvoisier et Joachim O. Fleckenstein, Bâle, Birkhäuser, 1969, p. 11-48 ; Waff, « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee », *op. cit.*, p. 55.

114. Leonhard Euler, « Tabulae astronomicae solis et lunae » (1746), in Id., *Opera omnia*, série 2, vol. XXIII, *op. cit.*, p. 1-10 ; Euler à Delisle, 8 mai 1745, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 224-226 (Bibliothèque nationale, ms. NAF 6197, f^os^ 91-92). Pour la publication de ces tables à la fin de l'année 1745 et leur révision en 1746 à Berlin, voir Waff, « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee », *op. cit.*, p. 56 n. 8.

115. Euler à Delisle, 13 mars 1745, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 212-214 (Observatoire de Paris, ms. B9.28).

116. Delisle à Euler, 27 mars 1745, *ibid.*, p. 216-219 (Observatoire de Paris, ms. B9.30) ; Leonhard Euler, « Orbitae Solaris determination » (1740), in Id., *Opera omnia*, série 2, vol. XXVIII, *op. cit.*, p. 17-25.

117. Euler à Delisle, 8 mai 1745, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 224-226 (Observatoire de Paris, ms. NAF 6197, f^os^ 91-92). Pendant l'été 1746, Euler déclara à un correspondant londonien qu'il connaissait l'existence des tables fautives préparées par les astronomes anglais Charles Leadbetter et Charles Brent, et qu'il avait vu les tables de l'édition de 1745 par Le Monnier de l'*Introductio ad veram astronomiam* de John Keill ; voir Euler à Wettstein, 16 juillet, 10 décembre 1746, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 260 et 264.

118. Sur les travaux de d'Alembert sur les erreurs en mécanique céleste, voir Hankins, *Jean d'Alembert*, *op. cit.*, p. 30-42 ; Waff, « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee », *op. cit.*, p. 87-93. Sur la résistance de l'éther au mouvement des planètes et des comètes, voir Wilson, « Perturbations and Solar tables », art. cit., p. 92-104.

119. Euler à Delisle, 15 février 1746, in *Relations scientifiques russo-françaises*, *op. cit.*, p. 236-239 (Observatoire de Paris, ms. B9.55) ; Leonhard Euler, « De relaxatione motus planetarum », in *Opuscula (Varii Argumenti)*, 3 vol., Berlin, A. Haude & J.C. Speneri, 1746-1751, vol. I, p. 246-276, pour le traitement mathématique de la résistance de l'éther ; Delisle, « Rechercher ce que M. Euler a remarqué sur l'éther », *op. cit.*, pour la réponse de Delisle.

120. Edmond Halley, « The ancient state of the city of Palmyra », *Philosophical Transactions*, 19, 1695-1697, p. 174 ; Schaffer, « Halley's atheism », art. cit. Les premières références aux travaux de Halley sont dans la deuxième édition des *Principia* (éd. par Koyré et Cohen, *op. cit.*, p. 758-759) et dans Pemberton, *View of Sir Isaac Newton's Philosophy*, *op. cit.*, p. 203.

121. Leonhard Euler, « Recherches sur le mouvement des corps célestes en général » (1747), in Id., *Opera omnia*, série 2, vol. XXV, éd. par Max Schürer, Zurich, Füssli, 1960, p. 1-44 ; Delisle à Euler, 21 juin 1746, Observatoire de Paris, ms. B9.64. Voir Waff, « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee », *op. cit.*, p. 50-60.

122. Alexis Claude Clairaut, « Du système du monde dans les principes de la gravitation universelle », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1745 (mais publié en 1749), p. 353-364.

123. Clairaut à Euler, 11 septembre 1747, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. V, *op. cit.*, p. 173.

124. Euler à Clairaut, 30 septembre 1747, *ibid.*, p. 176.

125. Sur la querelle entre Clairaut et Buffon, voir Craig B. Waff, « Alexis Clairaut and his proposed modification of Newton's inverse square law of gravitation », in *Avant, avec, après Copernic. La représentation de l'univers et ses conséquences épistémologiques*, Paris, A. Blanchard, 1975, p. 281-288 ; Id., « Universal gravitation and the motion of the Moon's apogee », *op. cit.*, p. 128-174 ; Wilson, « Perturbations and Solar tables », art. cit., p. 133-145.

126. Voir Leonhard Euler, « Lettres à une princesse d'Allemagne » (1760-1762), in Id., *Opera omnia*, série 3, vol. VI, éd. par Andreas Speiser, Zurich, Birkhäuser, 1976, lettres 17 (p. 41), 20 (p. 47), 59 (p. 130-131) et 75 (p. 164). Ce texte est interprété comme newtonien par Ron Calinger, « Euler's *Letters to a German Princess* as an expression of his mature scientific outlook », *Archive for History of Exact Sciences*, 15, 1976, p. 211-233, et comme défense de la théorie ondulatoire de la lumière dans David Speiser, « The distance of the fixed stars and the riddle

of the Sun's radiation », in René Taton et I. Bernard Cohen (dir.), *Mélanges Alexandre Koyré*, 2 vol., Paris, Hermann, 1964, vol. I, p. 541-551.

127. Eric G. Forbes, *The Euler-Mayer Correspondence (1751-1755)* : A *New Perspective on Eighteenth-Century Advances in the Lunar Theory*, Londres, Macmillan, 1971. Pour l'analogie avec le magnétisme, voir d'Alembert à Euler, 17 juin 1748, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. V, *op. cit.*, p. 288 ; Id., « Dissertatio de Magnete », in Id., *Opuscula (Varii Argumenti)*, *op. cit.*, vol. III, p. 16-18 ; cf. Mayer à Euler, 15 novembre 1751, et Euler à Mayer, 25 décembre 1751, in Forbes, *The Euler-Mayer Correspondence*, *op. cit.*, p. 42 et 44.

128. Euler à Mayer, 26 février 1754, *ibid.*, p. 69.

129. Sur le succès des tables de Mayer par la suite, voir Eric G. Forbes, *Tobias Mayer, Pioneer of Enlightened Science in Germany*, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1980, p. 134-150, 196-205.

130. Euler à Mayer, 27 mai 1755, in Forbes, *The Euler-Mayer Correspondence*, *op. cit.*, p. 97.

131. Roger Jaquel, « J.H. Lambert et l'astronomie cométaire au XVIII^e^ siècle », in *Comptes rendus du 92^e^ Congrès national des sociétés savantes, section des sciences, Strasbourg et Colmar, 1967. 1 : Histoire des sciences*, Paris, Bibliothèque nationale, 1969, p. 27-56 et 33-35 ; J. Levy, « Lambert et la mécanique céleste : le problème des comètes », in *Colloque international et interdisciplinaire J.H. Lambert*, Paris, Ophrys, 1979, p. 279-283.

132. *Aepinus's Essay on the Theory of Electricity and Magnetism*, éd. par Roderick W. Home, Princeton, Princeton University Press, 1979, p. 72-73 ; cf. Stephen Gaukroger, « The metaphysics of impenetrability : Euler's conception of force », *British Journal for the History of Science*, 15, 1982, p. 149, pour les conceptions d'Aepinus sur l'éther et le magnétisme par la suite. En septembre 1757, Aepinus dit à Euler que des observateurs suédois affirmaient que la comète visible pourrait bien être celle de 1682. Voir Aepinus à Euler, 30 septembre 1757, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 25.

133. Condorcet à Bossut, 3 septembre 1766, in Jean Pelseneer, « Lettres inédites de Condorcet », *Osiris*, 10, 1952, p. 322-327 ; Charles Bossut, « Recherches sur les altérations que la résistance de l'éther peut produire dans le mouvement moyen des planètes », in *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'Académie royale des sciences*, vol. VIII, Paris, Panckoucke, 1771.

134. Delisle à Bevis, 8 novembre 1748, Observatoire de Paris, ms. B10.28 ; Bevis à Delisle, 13 janvier 1749, *ibid.*, B10.53 ; Delisle à Bevis, 1^er^ mars 1749, *ibid.*, B10.81 ; Bevis à Delisle, 3 avril 1749, *ibid.*, B10.69 ; Bevis à Delisle, 8 septembre 1749, *ibid.*, B10.102. Voir Ruth Wallis, « John Bevis, M.D., F.R.S. (1695-1771) : Astronomer loyal », *Notes and Records of the Royal Society*, 36, 1982, p. 211-225 ; William Ashworth, Jr., « John Bevis and his *Uranographia* », *Proceedings of the American Philosophical Society*, 75 (1981), p. 52-73.

135. Delisle à Bevis, 22 octobre 1749, Observatoire de Paris, ms. B10.105. Cf. John Bevis, « Calculs de la comète de 1682 dans l'orbe elliptique suivant les éléments donnés dans les tables astronomiques de M. Halley », *ibid.*, A4.11, n° 42d.

136. Delisle à Bevis, 3 décembre 1749, *ibid.*, B10.115.

137. Delisle, *Lettres sur les tables astronomiques de M. Halley*, *op. cit.*, vol. I, p. 33-34 ; vol. II, p. 11-12.

138. *Ibid.*, vol. I, p. 5 ; vol. II, p. 22.

139. *Ibid.*, vol. II, p. 11.

140. *Ibid.*, p. 38-45.

141. *Ibid.*, p. 43.

142. *Ibid.*, p. 44. Sur Delisle à propos de Chéseaux, voir également « Hypothèses de M. de Chéseaux sur le retour de la comète de 1682 », Observatoire de Paris, ms. A4.11, n° 42d.

143. La lettre de Stevenson dans *London Magazine*, citée. Cf. Broughton, « The first predicted return of comet Halley », art. cit., p. 127-128 ; Waff, « The first international Halley watch », in Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants*, *op. cit.*

144. Joseph-Nicolas Delisle, « Avis aux astronomes sur la comète prédite par M. Halley », Observatoire de Paris, ms. A4.11, n° 42d, et Id., « Lettre sur le retour de la comète de 1682 », *Mercure de France*, juillet 1759, p. 146-175 ; Charles Messier, « Journal des observations astronomiques, 3 avril-24 mai 1759 », Observatoire de Paris, ms. C2.19, et Id., « Histoire et observations du retour de la comète de 1682 », *Mémoires de mathématiques et physique*, 1759, p. 380-390.

145. Lalande, *Tables astronomiques*, *op. cit.*, p. 99-129.

146. Charles Messier, « A memoir containing the history of the return of the famous comet of 1682 », *Philosophical Transactions*, 55, 1765, p. 297. Voir Messier, « Histoire et observations », art. cit., planche 2, également conservé dans Observatoire de Paris, ms. B4.8.

147. Messier, « Histoire et observations », art. cit., p. 385-386 ; Delisle, « Lettre sur le retour », art. cit., p. 148-156 ; Id., « Liste des ouvrages où sont rapportées les observations de la comète de 1682 », Observatoire de Paris, ms. A4.3, f^os^ 2-3.

148. L'annonce de Delisle se trouve dans les *Mémoires de Trévoux*, novembre 1757, p. 2867 ; voir Messier, « A memoir containing the history of the return of the famous comet of 1682 », art. cit., p. 298, et Id., « Journal des observations », *op. cit.*

149. Lalande, *Tables astronomiques*, *op. cit.*, p. 107. Voir Lalande, « Mémoire sur les équations séculaires », art. cit., p. 413. L'annonce de Lalande se trouve dans les *Mémoires de Trévoux*, novembre 1757, p. 2850-2863.

150. Alexis Claude Clairaut, « Mémoire sur la comète de 1682 », *Journal des sçavans*, janvier 1759, p. 38-45.

151. Waff, « The first international Halley watch », in Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants*, *op. cit.* ; Taton, « Clairaut et le retour de la comète », art. cit.

152. Messier, « A memoir containing the history of the return of the famous comet of 1682 », art. cit., p. 302-304, et « Journal des observations », *op. cit.* ; Delisle, « Lettre contenant la découverte du retour de la comète de 1682 », *Journal des sçavans*, juin 1759, p. 356-364. Waff, « The first international Halley watch », in Thrower (dir.), *Standing on the Shoulders of Giants*, *op. cit.*, signale qu'Heinsius fut la source de l'annonce de la redécouverte de la comète en Saxe. Voir Heinsius à Euler, 21 avril, 9 mai 1759, in *Die Berliner und die Petersburger Akademie*, *op. cit.*, vol. III, p. 120-121.

153. Delisle, « Lettre contenant la découverte du retour de la comète », art. cit. ; Taton, « Clairaut et le retour de la comète », *ibid.*, p. 257.

154. Clairaut à Bernoulli, 10 avril 1759, in Taton, « Clairaut et le retour de la comète », *ibid.*, p. 265.

155. *Ibid.*

156. Pierre Le Monnier, « Suite de l'apparition de la comète », *Mercure de France*, juillet 1759, p. 140-145. Les commentaires de d'Alembert se trouvent dans *L'Observateur littéraire*, août 1759, p. 181.

157. Lalande, *Tables astronomiques*, *op. cit.*, p. 111. Voir Alexis Claude Clairaut, *Théorie du mouvement des comètes, par laquelle on a égard aux altérations que les orbites éprouvent par l'action des planètes*, Paris, Lambert, 1760, et Id., *Réponse à quelques pièces, la plupart anonymes, dans lesquelles on a attaqué le Mémoire sur la comète de 1682*, Paris, Lambert, 1759.

158. Les commentaires de Lalande se trouvent dans le *Journal encyclopédique*, juin 1759, p. 41-50.

159. Clairaut, *Réponse à quelques pièces*, *op. cit.*, p. 7-8. Voir Hankins, *Jean d'Alembert*, *op. cit.*, p. 38-41.

160. Clairaut à Müller, 31 décembre 1760, in Euler, *Opera omnia*, série 4A, vol. V, *op. cit.*, p. 239 ; Alexis Claude Clairaut, *Recherches sur la comète des années 1531, 1607, 1682 et 1759*, Saint-Pétersbourg, Académie impériale des sciences, 1762 (envoyé le 3 décembre 1761).

CHAPITRE 3
La philosophie naturelle et le spectacle public au XVIII^{e} siècle

1. Joseph Priestley, « Lectures on history and general policy », in *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley*, éd. par John T. Rutt, 25 vol., Londres, Smallfield, 1817-1831, vol. XXIV, p. 27-28 ; John Heilbron, « Experimental natural philosophy », in George S. Rousseau et Roy Porter (dir.), *The Ferment of Knowledge*, Cambridge, 1980, p. 357-387, en particulier p. 386.
2. Sur le public et le spectacle, voir R.G. Dolby, « Sociology of knowledge in natural science », *Science Studies*, 1, 1971, p. 3-21, et les discussions dans Steven Shapin, « The audience for science in eighteenth century Edinburgh », *History of Science*, 12, 1974, p. 95-121 ; Karl Hufbauer, « The formation of the German chemical community », thèse de doctorat, Berkeley, University of California, 1970 ; James McClellan, « International organization of science and learned societies in the eighteenth century », thèse de doctorat, Princeton, Princeton University, 1975 ; Dennis R. Dean, « James Hutton and his public, 1785-1802 », *Annals of Science*, 30, 1973, p. 89-105 ; Roy Porter, « Science, provincial culture and public opinion in Enlightenment England », *British Journal of Eighteenth Century Studies*, 3, 1980, p. 20-46.
3. Geoffrey N. Cantor, « The eighteenth century problem », *History of Science*, 20, 1982, p. 44-63 ; Roderick W. Home, « Out of a Newtonian straightjacket : Alternative approaches to eighteenth century physical science », in Robert Brissenden et John C. Eade (dir.), *Studies in the Eighteenth Century*, IV, papers presented at the Fourth David Nichol Smith Memorial Seminar (Canberra 1976), Canberra, Australian National University Press, 1979, p. 235-249 ; Thomas S. Kuhn, *The Essential Tension* : *Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago, University Press of Chicago, 1977 (trad. fr. *La Tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*, trad. de l'anglais par Michel Biezunski, Pierre Jacob, Andrée Lyotard-May et Gilbert Voyat, Paris, Gallimard, 1990) ; John L. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries* : *A Study of Early Modern Physics*, Berkeley, University of California Press, 1979. Sur l'histoire naturelle, voir David E. Allen, *The Naturalist in Britain* : *A Social History*, Londres, Lane, 1976, en réponse à Michel Foucault, *Les Mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*, Paris, Gallimard, 1966, chap. 5.
4. Cantor, « The eighteenth century problem », art. cit. ; Ian Inkster, « The public lecture as an instrument of science education for adults. The case of Great Britain,

c. 1750-1850 », *Paedagogica historica*, 20, 1981, p. 85-112 ; Morris Berman, *Social Change and Scientific Organization* : *The Royal Institution, 1799-1844*, Londres, Heinemann, 1978, p. XXII. Sur la situation dans les années 1780, voir Louis Sebastien Mercier, *Tableau de Paris*, nouv. éd. augmentée, 4 vol., Amsterdam, 1783, vol. II, p. 300 ; Robert Darnton, *Mesmerism and the End of the Enlightenment in France*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1968 (trad. fr. *La Fin des Lumières. Le mesmérisme et la Révolution*, trad. de l'américain par Marie-Alyx Revellat, Paris, Perrin, 1984) ; Charles C. Gillispie, *Science and Polity in France at the End of the Old Regime*, Princeton, Princeton University Press, 1980, chap. 4 ; Daniel Mornet, *Les Origines intellectuelles de la Révolution française, 1715-1787*, Paris, A. Colin, 1967 (6e éd.) ; Claude-Anne Lopez, *Mon cher Papa* : *Franklin and the Ladies of Paris*, New Haven, Yale University Press, 1966 (nouv. éd. 1990 ; trad. fr. *Le Sceptre et la foudre. Benjamin Franklin à Paris, 1776-1785*, Paris, Mercure de France, 1990). Sur la conscience « pré-révolutionaire », voir Peter Nagy, *Libertinage et révolution*, Paris, Gallimard, 1975, p. 149-155 ; Michel Vovelle, « Le tournant des mentalités en France : la sensibilité pré-révolutionnaire », *Social History*, 5, 1977, p. 605-629 ; Michel Foucault, « Histoire sociale et histoire des mentalités », *La Nouvelle Critique*, 49, 1972, p. 40-44. Sur les transformations de la philosophie naturelle et de l'histoire naturelle, voir l'analyse stimulante de Wolf Lepenies, *Das Ende der Naturgeschichte. Wandel kultureller Selbstverständlichkeiten in den Wissenschaften des 18. und 19. Jahrhunderts*, Munich, Hanser, 1976, chap. « Wandel der Mentalitäten und Wissenschaftsgeschichte ».

5. Jean-Jacques Paulet, *L'Antimagnétisme ou Origine, progrès, décadence, renouvellement et réfutation du magnétisme animal*, [Paris], 1784, p. 5 ; Gillispie, *Science and Polity in France*, *op. cit.*, p. 232 ; Jean Starobinski, *1789* : *les emblèmes de la raison*, nouv. éd., Paris, Flammarion, 1979, p. 168-169 ; à comparer avec J.-B. Barbeguière, *La Maçonnerie mesmérienne*, Amsterdam, 1785, p. 65-67.
6. Darnton, *Mesmerism*, *op. cit.*, p. 11 n. 3.
7. Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 2 ; Ernst Benz, *Theologie der Elektrizität*, Mayence, Verlag der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, 1971.
8. Cambridge University Library, MS Add 3970.9, fo 619. Voir J.E. McGuire, « Newton on place, time and God », *British Journal for the History of Science*, 11, 1978, p. 114-129 ; Leonard Trengove, « Newton's theological views », *Annals of Science*, 22, 1966, p. 277-294 ; C.B. Wilde, « Matter and spirit as natural symbols in eighteenth century Britain », *British Journal for the History of Science*, 15, 1982, p. 99-131 ; Morris Berman, « "Hegemony" and the amateur tradition in British science », *Journal of Social History*, 8, 1975, p. 30-50.
9. Isaac Newton, *Opticks, or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light* (4e éd., Londres, 1730), reprint New York, Dover Publications, 1952, p. 399 ; P. Heimann et J.E. McGuire, « Newtonian forces and Lockean powers », *Historical Studies in Physical Sciences*, 3, 1971, p. 233-306 ; Peter Heimann, « "Nature is a perpetual worker" : Newtonian aether and eighteenth-

century natural philosophy », *Ambix*, 20, 1973, p. 1-25 ; Arnold Thackray, *Atoms and Powers : An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1970 ; Geoffrey Bowles, « John Harris and the powers of matter », *Ambix*, 22, 1975, p. 21-38 ; David Kubrin, « Newton's inside out : Magic, class struggle and the rise of mechanism in the West », in Harry Woolf (dir.), *The Analytic Spirit*, Ithaca, Cornell University Press, 1981, p. 96-121 ; D.M. Knight, « The vital flame », *Ambix*, 23, 1976, p. 5-15 ; Roderick W. Home, « Nollet and Boerhaave : A note on eighteenth century ideas about electricity and fire », *Annals of Science*, 36, 1979, p. 171-176. À confronter aux articles révisionnistes de Robert E. Schofield, « Joseph Priestley and the physicalist tradition in British chemistry », in Lester Kieft, Bennett Willeford *et al.* (dir.), *Joseph Priestley* : *Scientist, Theologian, and Metaphysician*, Lewisburg, Bucknell University Press, 1980, p. 92-117.

10. Humphry Ditton, *New Law of Fluids*, Londres, B. Cowse, 1714, p. 39-42.

11. Petrus van Musschenbroek, *Elements of Natural Philosophy*, trad. du latin par John Colson, Londres, J. Nourse, 1744, p. 199 et 216.

12. Herman Boerhaave, *New Method of Chemistry*, trad. par Peter Shaw, 2 vol., Londres, Longman, 1741 (2^{e} éd.), vol. I, p. 172-173 et 363-364 ; *Boerhaave's Correspondence*, éd. par Gerrit A. Lindeboom, 2 vol., Leyde, E.J. Brill, 1962-1964, vol. II, p. 13-15 ; Milton Kerker, « Hermann Boerhaave and the development of pneumatic chemistry », *Isis*, 46, 1955, p. 36-49 ; Allen Debus, « Fire analysis and the elements in the sixteenth and seventeenth centuries », *Annals of Science*, 23, 1967, p. 127-147 ; Rosaleen Love, « Boerhaave's element-instrument concept of fire », *Annals of Science*, 31, 1974, p. 547-559 ; Giambattista Gori, *La fondazione dell'esperienza in's Gravensande*, Florence, La Nuova Italia, 1972.

13. Joseph Addison, *The Spectator*, 565, juillet 1714 ; Martin Tamny, « Newton, creation and perception », *Isis*, 70, 1979, p. 48-58.

14. Voir les textes cités dans Simon Schaffer, « Natural philosophy », in Rousseau et Porter (dir.), *The Ferment of Knowledge*, *op. cit.*, p. 58-71.

15. *Educational Writings of John Locke*, éd. par James Axtell, Londres, Cambridge University Press, 1968, p. 177 ; Harry T. Dickinson, *Liberty and Property* : *Political Ideology in Eighteenth Century Britain*, Londres, Weidenfeld & Nicolson, 1977, p. 121-142.

16. John T. Desaguliers, *The Newtonian System of the World* : *The Best Model of Government*, Westminster, printed by A. Campbell for J. Roberts, 1728 ; Margaret C. Jacob, *The Radical Enlightenment* : *Pantheists, Freemasons and Republicans*, Londres, Allen & Unwin, 1981, p. 101-106 (sur Voltaire) ; Henry Fielding, *A Proposal for Making Effectual Provision for the Poor*, Londres, printed for A. Millar, 1753, p. 77 ; Michael Ignatieff, *A Just Measure of Pain* : *The Penitentiary in the Industrial Revolution*, Londres, MacMillan, 1978, p. 72 ; Douglas Hay, « Property, authority and the criminal law », in Douglas Hay, Peter Linebaugh,

Edward P. Thompson *et al.* (dir.), *Albion's Fatal Tree* : *Crime and Society in Eighteenth-Century England*, Londres, Allen Lane, 1975, p. 17-65.

17. Robert E. Schofield, « John Wesley and science in eighteenth century England », *Isis*, 44, 1953, p. 331-340, en particulier p. 335.

18. La grotte de Pope est décrite dans Robert Aubin, « Grottoes, geology and the Gothic revival », *Studies in Philology*, 21, 1934, p. 408-416 ; Marjorie Nicolson et George S. Rousseau, *"This Long Disease, My Life" : Pope and Science*, Princeton, Princeton University Press, 1968, p. 251-265 ; Thomas Wright, *Arbours and Grottoes*, éd. par Eileen Harris, Londres, Scolar Press, 1979.

19. Francis D. Klingender, *Art in the Industrial Revolution*, Londres, Paladin, 1972, p. 85-90 ; Clarke Garrett, *Respectable Folly* : *Millenarians and the French Revolution in France and England*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1975, p. 155 ; John Harrison, *The Second Coming* : *Popular Millenarianism, 1780-1850*, Londres, Routledge & Keegan Paul, 1979, p. 74 ; Sybil M. Rosenfeld, *The Theatre of the London Fairs in the Eighteenth Century*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960. Au sujet du clavecin chromatique, voir Jérôme Lalande, *Principes de la science de l'harmonie*, Berlin, 1752 (Bibliothèque nationale de France, ms. 12273, f^os^ 139-144) ; Donald Schier, *Louis Bernard Castel* : *Anti-Newtonian Scientist*, Cedar Rapids, Torch Press, 1941 (thèse de doctorat, New York, Columbia University, 1941) ; Anne-Marie Choulliet-Roche, « Le clavecin oculaire du Père Castel », *Dix-huitième siècle*, 8, 1976, p. 141-166. Au sujet des entrepreneurs, voir notamment Peter Mathias, *The Transformation of England* : *Essays in the Economic and Social History of England in the Eighteenth Century*, Londres, Methuen, 1979, chap. 12, et John H. Plumb, *The Commercialization of Leisure in Eighteenth Century England*, Reading, University of Reading, 1973.

20. « An historical account of the wonderful discoveries made in Germany concerning electricity », *Gentleman's Magazine*, 15, 1745, p. 193-197, cité par John Heilbron, « Franklin, Haller and Franklinist history », *Isis*, 48, 1977, p. 539-549.

21. *Family Memoirs of the Rev. William Stukeley, M.D.*, éd. par W.C. Lukis, 3 vol., Durham, Surtees Society, 1882-1887, vol. II (1883, Publications of the Surtees Society n^o^ 76), p. 378-379 : « Afin de contribuer à ces archives, je propose le compte rendu suivant sur l'électricité. » Voir également I. Bernard Cohen, « Neglected sources for the life of Stephen Gray », *Isis*, 14, 1954, p. 41-48, et la lettre de Granville Wheler à Benjamin Wilson, 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, f^o^ 71. On trouve un compte rendu passionnant d'une source importante pour les premiers travaux sur l'électricité dans Gad Freudenthal, « Early electricity between chemistry and physics : The simultaneous itineraries of Francis Hauksbee, Samuel Wall and Pierre Polinière », *Historical Studies in Physical Sciences*, 11, 1981, p. 203-229, qui suggère l'importance de l'étude du phosphore et souligne « l'émerveillement pour de tels spectacles ».

22. Edmond Halley, 20 mai 1731, Bodleian Library (Oxford), MS Rigaud 37, f^o^ 135.

23. Charles François Dufay, « Sixième mémoire sur l'électricité », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1734, p. 519-520.

24. Granville Wheler, « Some remarks on the late Mr. Gray's electrical circular experiment », *Philosophical Transactions*, 41, 1737, p. 118-125. Voir également Stephen Gray, « Letter to Granville Wheler concerning the revolutions which small pendulous bodies will by electricity make round large ones… as the planets do round the Sun », *Philosophical Transactions*, 39, 1736, p. 220 ; Francis Hauksbee, *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects*, Londres, J. Senex & W. Taylor, 1719, p. 67-68.

25. Wheler, « Some remarks », art. cit., et John Smeaton à Benjamin Wilson, 24 septembre 1746, British Library, MS Add 30094, f° 22.

26. *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton : A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*, éd. par A. Rupert Hall et Marie Boas Hall, Cambridge, Cambridge University Press, 1962, p. 350-353 ; Benjamin Rackstrow, *Miscellaneous Observations Together with a Collection of Experiments on Electricity*, Londres, printed for the author, 1748, p. 56-57 ; à comparer avec John R. Millburn, « William Stukeley and the early history of the orrery », *Annals of Science*, 31, 1974, p. 511-528. Voir également John Ryland, *An Easy Introduction to Mechanics and Geometry*, Londres, printed for Edward and Charles Dilly, 1768, p. XIX-XXII. Je dois cette référence à James Secord. Au sujet des systèmes utilisant l'électricité et le feu, voir Philip C. Ritterbush, *Overtures to Biology : The Speculations of Eighteenth-Century Naturalists*, New Haven, Yale University Press, 1964 ; John Lacy, *The Universal System*, Londres, printed for J. Buckland, 1779 ; Robert Harrington, *A New System on Fire and Planetary Life*, Londres, T. Cadell & W. Davies, 1796 ; Richard Symes, *Fire Analysed*, Bristol, printed by Thomas Cocking, 1771, p. 55-58 ; pour les boehménistes, voir Christopher Walton, *Notes and Materials for an Adequate Biography of William Law*, Londres, for private circulation, 1854, p. 413-417 ; Serge Hutin, *Les Disciples anglais de Jacob Boehme aux XVII^e^ et XVIII^e^* siècles, Paris, Denoël, 1960.

27. Rackstrow, *Miscellaneous Observations*, *op. cit.*, p. 25 ; Symes, *Fire Analysed*, *op. cit.*, p. 36 ; P. Collinson à C. Colden, 30 mars 1745, *Colden Papers*, New York, 1920, vol. III, p. 109-111 ; Benjamin Martin, *Philosophia Britannica*, Londres, 1747, vol. I, préface.

28. P. Coste, *Traité d'optique*, Amsterdam, 1722 (2^e^ éd.) ; John Desaguiliers, *Experimental Philosophy*, Londres, 1734 ; bibliothèque de King's College à Cambridge, MS Keynes 130.11 ; Robinson à Wilson, British Library, MS Add 30094, f° 23, je dois cette information à Steven Shapin.

29. Joseph Priestley, *History and Present State of Electricity*, Londres, 1775 (3^e^ éd.), vol. II, p. 134-137.

30. Darnton, *Mesmerism*, *op. cit.*, p. 60.

31. Sur la bouteille de Leyde, voir Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, chap. 13 ; W. Hackmann, *Electricity from Glass : The History of the Frictional Electrical Machine*, Alphen, 1978 ; Priestley, *History and Present State of Electricity*, *op. cit.*, vol. I, p. 103-119. Sur la mort de Richmann, voir Ritterbush, *Overtures to Biology*, *op. cit.*, p. 25 ; *Gentleman's Magazine*, 25, 1755, p. 312 ; Joseph Priestley, *History of Electricity*, Londres, 1767, p. 107 et 358-359 ; William Watson, « Answer to Dr Lining's query relating to the death of Professor Richmann », *Philosophical Transactions*, 48, 1754, p. 765-772. À comparer avec la lettre de Mazéas à Wilson, British Library, MS Add 30094, f° 78.

32. John Smeaton à Benjamin Wilson, 24 septembre 1746, British Library, MS Add 30094, f° 22.

33. Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 352 n. 33 ; John Wesley, *The Desideratum or Electricity Made Plain and Useful to Shew the Cause of Electricity*, Londres, 1746, p. v ; Symes, *Fire Analysed*, *op. cit.*, p. 49 ; et voir A.J. Kuhn, « Nature spiritualized : Aspects of anti-Newtonianism », *English Literary History*, 41, 1974, p. 400-412.

34. Ritterbush, *Overtures to Biology*, *op. cit.* ; G. Adams, *Essay on Electricity*, Londres, 1785 (2e éd.), p. 316 ; R.W. Home, « Electricity and the nervous fluid », *Journal of the History of Biology*, 3, 1970, p. 235-251.

35. J. Neale, *Directions for Gentlemen Who Have Electrical Machines*, Londres, 1747 ; Symes, *Fire Analysed*, *op. cit.*, p. 59-87 : « L'électricité devient la plus proche de toutes les panacées des médicaments déjà découverts » ; Rackstrow, *Miscellaneous Observations*, *op. cit.*, p. 53-55 ; J.R. Milburn, *Benjamin Martin : Instrument-Maker, Author and "Country Showman"*, Leyde, 1976, p. 40-44 ; Thomas Yeoman, in A.E. Musson et E. Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, Manchester, 1969, p. 381 ; John Warltire, in D. McKie, « Mr. Warltire, a good chymist », *Endeavour*, n° 10, 1951, p. 40-49, et H. Torrens, « Geological communication in the Bath area in the last half of the eighteenth century », in Ludmilla Jordanova et Roy Porter (dir.), *Images of the Earth*, Chalfont St. Giles, 1979, p. 215-247, en particulier p. 230 ; Ebenezer Kinnersley, à Newport, R.I., 1752, in B. Dibner, *Early Electrical Machines*, Norwalk, 1957, p. 35 : « Comme le savoir de la nature tend à élargir l'esprit humain, et nous donne des idées plus nobles, plus grandes, plus exaltées de l'auteur de la nature, et si cette recherche échoue rarement à produire quelque chose d'utile à l'homme, il faut espérer que ces conférences vaudront la peine comme égard et encouragement. » Voir J. Harrison, « Blind Henry Moyes », *Annals of Science*, 13, 1957, p. 109-125, et Ritterbush, *Overtures to Biology*, *op. cit.*, p. 43-48 sur la Royal Humane Society et le retour de l'électricité. A.J. Turner, *Science and Music in Eighteenth Century Bath*, Bath, 1977, p. 86, sur John Arden.

36. Milburn, *Benjamin Martin*, *op. cit.* ; Benjamin Martin, *A Course of Lectures in Natural and Experimental Philosophy*, Reading, 1743, préface ; Benjamin Martin, *New and Compleat Course of Experimental Philosophy*, Bath, 1746, préface.

37. John Freke, *Treatise on the Nature and Property of Fire*, Londres, 1752, p. 28-32 ; Benjamin Martin, *Supplement Containing Remarks on a Rhapsody of Adventures of a Modern Knight-Errant*, Bath, 1746, p. 28-29.

38. Carl von Linné, *L'Équilibre de la nature*, éd. par C. Limoges, Paris, Vrin, 1972, p. 146-148.

39. Geoffrey N. Cantor, « The theological significance of ethers », in G. Cantor et M. Hodge (dir.), *Conceptions of Ether*, Cambridge, 1981, p. 135-155 ; A. Temple Patterson, *Radical Leicester*, Leicester, 1954, p. 73 ; Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, 1774, p. XIV.

40. Ronald A. Knox, *Enthusiasm*, Oxford, 1950 ; George Rosen, « Enthusiasm », *Bulletin of the History of Medicine*, 42, 1968, p. 393-421 ; George Rosen, *Madness in Society*, Chicago, 1968. Je dois cette information à Roy Porter.

41. Meric Casaubon, *Treatise Concerning Enthusiasm*, Oxford, 1655 ; Thomas Browne, *Pseudodoxia Epidemica, Londres*, 1658 (3e éd.) ; John Trenchard, *Natural History of Superstition*, Londres, 1709, p. 13-20.

42. Hillel Schwartz, *Knaves, Fools, Madmen and That Subtile Effluvium*, Gainesville, 1978, p. 35 et 47. John Toland, *Adeisidaimon*, Dublin, 1709, p. 68.

43. William Reeves, *The Apologies of Justin Martyr*, Londres, 1716 (2e éd.), p. LXXV-LXXVIII ; Philippe Hecquet, *Le Naturalisme des convulsions dans les maladies de l'épidémie convulsionnaire*, 2 vol., Paris, 1733 ; Philippe Hecquet, *La Chirurgie et la pharmacie des pauvres*, 3 vol., Paris, 1740. Voir E. Duffy, « Primitive Christianity revived : Religious renewal in Augustan England », *Studies in Church History*, 14, 1977, p. 287-300 sur les images tory.

44. Ronald Westrum, « Science and social intelligence about anomalies : The case of meteorites », *Social Studies of Science*, 8, 1978, p. 461-493 ; S. Shaffer, « Authorised prophets : Comets and astronomers in the eighteenth century », *Studies in Eighteenth Century Culture*, 18, 1987, p. 45-74.

45. Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 16 ; E.S. de Gamaches, *L'Hypothèse des petits tourbillons*, Paris, 1761, p. 326.

46. Jean Torlais, *L'Abbé Nollet : un physicien au siècle des Lumières*, Paris, 1954, p. 17 et 69 ; Jean Torlais, « La physique expérimentale », in René Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIIIe siècle*, Paris, 1964, p. 619-639 ; Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 159 ; B.T. Hanna, « Polinière and the teaching of experimental physics at Paris, 1700-1730 », in P. Gay (dir.), *Eighteenth Century Studies Presented to Arthur Wilson*, Hanover (NH), 1972, p. 15-39.

47. Torlais, *L'Abbé Nollet*, *op. cit.*, p. 74 et 226 ; Jean Antoine Nollet, *Programme ou idée générale d'un cours de physique expérimentale*, Paris, 1738, p. XVIII.

48. Torlais, *L'Abbé Nollet*, *op. cit.*, p. 81.

49. Jean Antoine Nollet, « Examen de deux questions concernant l'électricité », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1753, p. 481-482. Voir R.W. Home, *The*

Effluvial Theory of Electricity, New York, 1981, p. 240.

50. Torlais, *L'Abbé Nollet*, *op. cit.*, p. 19.

51. Jean Antoine Nollet, « An examination of certain phenomena in electricity », *Philosophical Transactions Abridged*, 10, 1809, p. 20-27, en particulier p. 23. Voir aussi Jean Antoine Nollet, « Expériences et observations faites en différents endroits d'Italie », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1749, p. 444-488.

52. Nollet, « An examination », art. cit., p. 25 ; Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 354.

53. Félix Vicq d'Azyr, *Œuvres complètes*, Paris, 1805, vol. III, p. 117 ; S.P. Mérard de Saint-Just, *Éloges historiques de J.S. Bailly*, Paris, 1794, p. 65-66 ; Jean Sylvain Bailly, *Discours et mémoires*, Paris, 1790, vol. II, p. 108 ; Martin van Marum, *Life and Work*, Haarlem, 1971, vol. V, p. 33 ; L.J. Rather, *Mind and Body in Eighteenth Century Medicine*, New York, 1965.

54. Antoine Laurent de Jussieu, *Rapport par l'un des commissaires chargés par le Roy de l'examen du magnétisme animal*, Paris, 1784 ; Antoine Servan, *Doutes d'un provincial*, Lyon, 1784, p. 82-83 ; Darnton, *Mesmerism*, *op. cit.*, p. 113.

55. William Watson, « A letter », *Philosophical Transactions*, 46, 1750, p. 348-356 ; « An account of Mr. Benjamin Franklin's treatise », *Philosophical Transactions*, 47, 1751, p. 202-211 ; « An account of Professor Winkler's experiments relating to odours passing through electrized globes and tubes », *Philosophical Transactions*, 47, 1751, p. 231-241 ; « An account of Dr Bohadsch's treatise », *Philosophical Transactions*, 47, 1751, p. 345-351 ; lettre de Henry Miles à Wilson, British Library, MS Add 30094, f° 76.

56. Jean Torlais, « Une grande controverse scientifique du XVIII^e^ siècle : l'abbé Nollet et Benjamin Franklin », *Revue d'histoire des sciences*, 9, 1956, p. 339-349 ; Heilbron, *Electricity*, *op. cit.* ; R.W. Home, *Aepinus's Essay on the Theory of Electricity and Magnetism*, Princeton, 1979, p. 107-136.

57. E. Yamazaki, « L'abbé Nollet et Benjamin Fraklin », *Japanese Studies in History of Science*, 15, 1976, p. 37-64 ; Jean Antoine Nollet, *Lettres sur l'électricité*, Paris, 1753, p. 28-29.

58. Linné, *L'Équilibre de la nature*, éd. par C. Limoges, *op. cit.*, p. 122 et 133 ; Oliver Goldsmith, *An History of the Earth and Animated Nature*, Londres, 1774, vol. I, p. 400-401 ; Roy Porter, « Creation and credence : The career of theories of the Earth in Britain », in B. Barnes et S. Shapin (dir.), *Natural Order*, Londres, 1979, p. 106 ; W.R. Hamilton (dir.), *Works of Thomas Reid*, Édimbourg, 1846, p. 187 et 527. Je dois cette référence à Michael Barfoot.

59. B. Martin, *Philosophia Britannica*, Londres, 1747, vol. I, préface.

60. Horace Walpole, *Correspondence*, éd. par W.S. Lewis, New Haven, 1960, vol. XX, p. 130, et vol. XXV, p. 427. Voir J. Taylor, « Eighteenth century earthquake theories », PhD., Oklahoma, 1975.

61. Horace Walpole, *Letters*, éd. par P. Cunnigham, Londres, 1857, vol. II, p. 198 et 207.

62. Sur la climatologie et le millénaire, voir Paul Vulliaud, *La Fin du monde*, Paris, Payot, 1952, p. 168 ; Garrett, *Respectable Folly*, *op. cit.*, chap. 7 ; Jean-Paul Desaive *et al.*, *Médecins, climat et épidémies à la fin du XVIII^e siècle*, Paris / La Haye, Mouton, 1972 ; Natalie Zemon Davies, *Society and Culture in Early Modern France*, New York, 1975 ; George Rosen, *From Medical Police to Social Medicine*, New York, 1974 ; Mirko D. Grmek, « Géographie médicale et histoire des civilisations », *Annales. Histoire, sciences sociales*, 18, 1963, p. 1071-1097. Sur les tremblements de terre, voir G.S. Rousseau, « The London earthquakes of 1750 », *Cahiers d'histoire mondiale*, 11, 1968, p. 436-451 ; Thomas D. Kendrick, *The Lisbon Earthquake*, Londres, 1956 ; John Wesley, *Journal of John Wesley*, éd. par N. Curnock, Londres, 1938, vol. VI, p. 456.

63. Robert Frank, *Harvey and the Oxford Physiologists*, Berkeley, 1980, chap. 5 ; lettre de John Flamsteed à Isaac Newton, 10 avril 1693, Cambridge University Library, MS Add 3979, f° 11 ; H. Gerlac, « The poets'niter », *Isis*, 45, 1954, p. 243-255.

64. Stephen Hales, *Vegetable Staticks*, Londres, 1727, p. 220 et 313 ; D.C. Allan et R.E. Schofield, *Stephen Hales : Scientist and Philanthropist*, Londres, 1980.

65. Stephen Hales, « Considerations on the causes of earthquakes », *Philosophical Transactions*, 46, 1750, p. 669-681 ; Denis Papin, « A demonstration of the velocity wherewith the air rushes into an exhausted receiver », *Philosophical Transactions*, 16, 1686, p. 193-194.

66. Hales, *Vegetable Staticks*, *op. cit.*, p. 280, et Id., « Considerations on the causes of earthquakes », art. cit. Voir aussi H. Gerlac, « The continental reputation of Stephen Hales », *Archives internationales d'histoire des sciences*, 4, 1951, p. 393-404.

67. Jordanova et Porter (dir.), *Images of the Earth*, *op. cit.*, p. 117-146 ; Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 373 ; D.W. Singer, « Sir John Pringle and his circle », *Annals of Science*, 6, 1949, p. 127-180 ; V.W. Crane, « The club of honest whigs », *William and Mary Quarterly*, 23, 1966, p. 210-233.

68. R. Schofield, « Electrical researches of Joseph Priestley », *Archives internationales d'histoire des sciences*, 64, 1963, p. 277-286 ; R. Schofield (dir.), *Scientific Autobiography of Joseph Priestley*, Cambridge (MA), 1966, p. 65-67.

69. Thomas Harmer à John Canton, 11 décembre 1753, Royal Society, Canton Papers, II, p. 28.

70. P. Bertholon, *Journal de physique*, 10, 1777, p. 179-196 ; Jacques Sigaud de La Fond, *Dictionnaire de physique*, Paris, 1784, vol. IV, p. 453.

71. D. Gamble à Wilson, mars 1782, British Library, MS Add 30094, f° 219 (pour les diagrammes de protection de la lumière) ; Benjamin Wilson, « New experiments on the nature and use of conductors », *Philosophical Transactions*, 68, 1778, p. 245-313 ; Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 380-382 ; I.B. Cohen, « Prejudice against the introduction of lightning rods », *Journal of the Franklin Institute*, 253, 1952, p. 393-

440 ; P.A. Turnbridge, « Franklin's pointed lightning conductors », *Notes and Records of the Royal Society*, 28, 1974, p. 207-219.

72. Taylor, « Eighteenth century earthquake theories », PhD., *op. cit.*, p. 91-153.

73. Hume in Kendrick, *The Lisbon Earthquake*, *op. cit.* ; Thomas Sherlock, *Letter on Occasion of the Late Earthquakes*, Londres, 1750 ; *Family Memoirs of the Rev. William Stukeley*, éd. par W.C. Lukis, *op. cit.*, vol. II (1883, Publications of the Surtees Society n° 76), p. 370 ; Walpole, *Correspondence*, *op. cit.*, XX, p. 154.

74. Stuart Piggott, *William Stukeley*, Oxford, 1950 ; *Family Memoirs of the Rev. William Stukeley*, éd. par W.C. Lukis, *op. cit.*, vol. I (1882, Publications of the Surtees Society n° 73), p. 217-219.

75. Stuart Piggott, *The Druids*, Harmondsworth, 1974, p. 131-135 ; *Family Memoirs of the Rev. William Stukeley*, éd. par W.C. Lukis, *op. cit.*, vol. I (1882, Publications of the Surtees Society n° 73), p. 98-100).

76. William Stukeley, « On the causes of earthquakes », *Philosophical Transactions*, 46, 1750, p. 641-646 ; « Concerning the causes of earthquakes », *Philosophical Transactions*, 46, 1750, p. 657-659 ; « Philosophy of earthquakes », *ibid.*, p. 731-750 ; Benjamin Franklin, *Papers and Letters*, éd. par L. Larabee, New Haven, 1961, vol. III, p. 365-376, et vol. IV, p. 278-281.

77. Stukeley, « Philosophy of earthquakes », art. cit., p. 740-750.

78. Taylor, « Eighteenth century earthquake theories », PhD., *op. cit.*, p. 17-19.

79. E.M. Tilton, « Lightening rods and the earthquakes of 1755 », *New England Quarterly*, 13, 1940, p. 85-97.

80. Giambattista Beccaria, *Dell'elettricismo artifiale e naturale*, Turin, 1753, p. 227-231 ; Giambattista Beccaria, *Elettricismo atmosferico*, Turin, 1758 (2e éd.), p. 361 n. 2 ; Sigaud de La Fond, *Dictionnaire de physique*, *op. cit.* ; M.-J. Brisson, *Dictionnaire raisonné de physique*, Paris, 1781, vol. II, p. 663-670 ; T. Carvallo, *Complete Treatise of Electricity*, Londres, 1777, p. 247-248 ; C. Barletti, *Nuove sperienze elettriche*, Milan, 1771, p. 38-41 ; J. Tytler, *Encyclopaedia Britannica*, Édimbourg, 1779 (2e éd.), vol. IV, p. 2589-2603. Ces textes sont analysés par Taylor, « Eighteenth century earthquake theories », PhD., *op. cit.*

81. Priestley, *History and Present State of Electricity*, *op. cit*, vol. I, p. 443-458, et vol. II, p. 295-307.

82. *Ibid.*, vol. I, p. 457-458, et vol. II, p. 75.

83. John G. McEvoy, « Joseph Priestley : Philosopher, scientist and divine », PhD., université de Pittsburgh, 1976.

84. Priestley, *History of Electricity*, *op. cit.*, préface, p. XXIII ; David Hartley, *Observations on Man*, Londres, 1749 ; John G. McEvoy, « Electricity, knowledge and the nature of progress in Priestley's thought », *British Journal for the History of Science*, 12, 1979, p. 1-30 ; R. Marsh, « The second part of Hartley's system », *Journal of the History of Ideas*, 20, 1959, p. 264-273 ; D. D'Elia, « Benjamin Rushn Hartley and

the revolutionary uses of psychology », *Proceedings of the American Philosophical Society*, 114, 1970, p. 109-118.

85. McEvoy, « Electricity, knowledge and the nature of progress in Priestley's thought », art. cit. ; Priestley, *History of Electricity*, *op. cit.*, p. IV.

86. Torlais, *L'Abbé Nollet*, *op. cit.*, p. 226 ; Jean Antoine Nollet, « Comparaison raisonnée des plus célèbres phénomènes de l'électricité », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1743, p. 429-446 et 430.

87. P. Gerstner, « Hutton's theory of the Earth and his theory of matter », *Isis*, 59, 1968, p. 26-31 ; R. Grant, « Hutton's theory of the Earth », in Jordanova et Porter (dir.), *Images of the Earth*, *op. cit.*, p. 23-38 ; à comparer avec O. Reinhardt et D. Oldroyd, « Kant's thoughts on the aeging of the Earth », *Annals of Science*, 39, 1982, p. 349-369 ; F. Garrison, « Franklin's dissertations relating to geological phenomena », *Journal of the Franklin Institute*, 223, 1937, p. 635-642.

88. J.L. Larson, *Reason and Experience : The Representation of Order in the Work of Carl von Linné*, New York, 1971 ; Linné, *L'Équilibre de la nature*, éd. par C. Limoges, *op. cit.*, p. 108 ; Wolf Lepenies, « Linnaeus'Nemesis divina and the concept of divine retaliation », *Isis*, 73, 1982, p. 11-27.

89. R. Pulteney, *General View of the Writings of Linnaeus*, Bath, 1781 ; M. Berdoe, *Enquiry into the Influence of the Electric Fluid*, Londres, 1771 ; J. Maclurg, *Experiments upon Human Life*, Londres, 1772, p. 62 ; voir Ritterbush, *Overtures to Biology*, *op. cit.*, p. 28-35.

90. T.M. Brown, « From mechanism to vitalism in eighteenth century English physiology », *Journal of the History of Biology*, 7, 1974, p. 179-216 ; W. Walker, « Animal electricity before Galvani », *Annals of Science*, 2, 1937, p. 84-113, avec les reproductions des maquettes de la torpille (ou raie électrique) de Cavendish ; A. Vartanian, « Trembley's polyp, La Mettrie and eighteenth century French materialism », in P. Weiner et A. Noland (dir.), *Roots of Scientific Thought*, New York, 1957, p. 497-516 ; D.P. Miller, « Sir Joseph Banks : An historiographical perspective », *History of Science*, 19, 1981, p. 284-292.

91. Denis Diderot, *Œuvres philosophiques*, éd. par P. Vernière, Paris, 1964, p. 185.

92. François Quesnay, *Essai physique sur l'économie animale*, Paris, 1747 (2^{e} éd.) ; [F. Quesnay], *François Quesnay et la physiocratie*, Paris, 1958, vol. I, p. 886-892 ; E. Fox-Genovese, *Origins of Physiocracy*, New York, 1976 ; R.K. French, « Ether and physiology », in Cantor et Hodge, *Conceptions of Ether*, *op. cit.*, p. 125.

93. Sur la philosophie aérienne, voir A.L. Donovan, *Philosophical Chemistry in the Scottish Enlightenment*, Édimbourg, 1975, et, sur la thérapie et l'air, J. Eklund, « Of a spirit in the water : Some early ideas on the aerial dimension », *Isis*, 67, 1976, p. 527-550. Sur l'air et la santé chez Smollett, voir G. Rousseau, « Matt Bramble and the sulphur controversy in the eighteenth century », *Journal of the History of Ideas*, 28, 1967, p. 577-589 ; à comparer avec M.F. Morel, « City and

country in eighteenth century medical discussions », in R. Forster et O. Ranum (dir.), *Medicine and Society in France*, Baltimore, 1980, p. 48-65.

94. John Pringle, *Observations on the Nature and Cure of Hospital and Jayl Fevers*, Londres, 1750, p. 8-33 ; Singer, « Sir John Pringle and his circle », art. cit., p. 229-247 ; W.F. Bynum, « Health, disease and medical care », in Rousseau et Porter (dir.), *The Ferment of Knowledge*, *op. cit.*, chap. 5 ; Pasquale Pasquino, « Theatrum politicum : The genealogy of capital », *Ideology and Consciousness*, 4, 1978, p. 41-54 ; F.L. Knemeyer, « Polizei », *Economy and Society*, 9, 1980, p. 168-196 pour les textes de Frank, Beccaria *et al.*, et les écrits sur le système de la police. Sur Macbride, voir David Macbride, *Experimental Essays*, Dublin, 1764, p. VIII et 30-31 ; E. Scott, « The Macbridan doctrine of air », Ambix, 17, 1970, p. 43-57 ; C. Lloyd et J. Coulter, *Medicine and the Navy*, Londres, 1961, p. III.

95. D. McKie, « Joseph Priestley and the Copley Medal », *Ambix*, 9, 1961, p. 1-22 ; Joseph Priestley, « Observations on different kinds of air », *Philosophical Transactions*, 62, 1772, p. 147-264, en particulier p. 162.

96. Priestley à de Luc, 11 décembre 1782, in Schofield (dir.), *Scientific Autobiography of Joseph Priestley*, *op. cit.*, p. 217 ; à comparer avec la lettre de Priestley à Arthur Young, 12 décembre 1782, *ibid.*, p. 218 ; Jean André de Luc, *Idées sur la météorologie*, Paris, 1787 ; Lalande à de Luc, 14 avril 1788, archives de l'Académie des sciences, dossier Lalande.

97. P. Mathias, *The Transformation of England*, Londres, 1979, p. 265-285 ; R. Cooter, « Anti-contagionism and history's medical record », in P. Wright et A. Treacher (dir.), *The Problem of Medical Knowledge*, Édimbourg, 1982, p. 87-108.

98. Joseph Priestley, *Institutes of Natural and Revealed Religion*, Londres, 1772, vol. II, p. 19-20 ; sur Clayton, voir A.R. Winnett, « An Irish heretic bishop : Robert Clayton of Clogher », *Studies in Church History*, 9, 1972, p. 311-321, et Wilde, « Matter and spirit as natural symbols in eighteenth century Britain », art. cit.

99. Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, 1775, vol. II, p. 146, et *Disquisitions Relating to Matter and Spirit*, Londres, 1777, p. 170-173. Pour les études concernant la structure en petits groupes des Lumières, voir R. Porter et M. Teich (dir.), *The Enlightenment in National Context*, Cambridge, 1979 ; R.L. Emerson, « The social composition of Enlightened Scotland », *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 114, 1973, p. 291-329 ; R.F. Schofield, *The Lunar Society of Birmingham*, Londres, 1963 ; D. Roche, « Milieux académiques provinciaux et sociétés des Lumières », *Livres et société dans la France du XVIII^e siècle*, Paris, 1965, p. 93-184 ; E. Cochrane, *Florence in the Forgotten Centuries*, Londres, 1973, p. 429 sur les Georgofili ; F. Haskell, *Patrons and Painters*, Cambridge, 1963, p. 278 sur les newtoniens vénitiens ; R. Koselleck, *Le Règne de la critique*, Paris, 1979, pour une interprétation brillante des liens entre les clubs, les maçons et les Lumières qui complète M.C. Jacob, *Radical Enlightenment*, *op. cit.*

100. Sur Beddoes et le besoin d'« humaniser le peuple » (1792), voir J.E. Stock, *Memoirs of the Life of Thomas Beddoes*, Londres, 1811 ; T.H. Levere, « Thomas Beddoes at Oxford », *Ambix*, 28, 1981, p. 61-69 ; F. Cartwright, « The Association of Thomas Beddoes with James Watt, Jr. », *Notes and Records of the Royal Society*, 22, 1967, p. 131-143 ; M. Neve, « The young Humphry Davy or John Tonkin's lament », in S. Forgan (dir.), *Science and the Sons of Genius*, Londres, 1980, p. 1-32, qui écrit sur le programme de Beddoes.

101. Erasmus Darwin, *The Temple of Nature*, Londres, 1803, note 21, sur l'affinité et le pouvoir, voir les notes additionnelles 14 et 15 sur les tremblements de terre et le feu ; E. Robinson, « The Derby Philosophical Society », *Annals of Science*, 9, 1953, p. 359-367 ; N. Garfinkle, « Science and religion in England, 1790-1800 : Critical response to the work of Erasmus Darwin », *Journal of History of Ideas*, 16, 1955, p. 376-388. Sur Phillips, voir Patterson, *Radical Leicester*, *op. cit.*, p. 68 *sq.*, et I. Prothero, *Artisans and Politics in Early Nineteenth Century London*, Londres, 1979, p. 263.

102. Thackray, *Atoms and Powers*, *op. cit.*, p. 248-252 ; W.L. Scott, « Impact of the French Revolution on English science », *Mélanges Alexandre Koyré*, Paris, 1964, vol. II, p. 475-495 ; Joseph Priestley, *Letters to the Right Honourable Edmund Burke*, Birmingham, 1791, p. 239 ; lettre de Priestley à Burke, 11 décembre 1782, in *Scientific Autobiography*, *op. cit.*, p. 216 ; R. Rose, « The Priestley riots », *Past and Present*, 17, 1960, p. 68-88.

103. William Blake, *Complete Writings*, éd. par G. Keynes, Oxford, 1969, p. 58-59 ; D.V. Erdman, *Blake : Prophet Against Empire*, Princeton, 1977 (3e éd.), p. 93 n. 13 et p. 529 ; D. Ault, *Visionary Physics : Blake's Response to Newton*, New York, 1974, p. 50-52 ; G. Pinetti, *The Conjurer's Repository*, Londres, 1795 (sur Katterfelto).

104. E. Sibley, *Complete Illustration of the Celestial Science of Astrology*, Londres, 1784, p. 42 ; A. Debus, « A further note on palingenesis : The account of Ebenezer Sibley », *Isis*, 64, 1973, p. 226-230 ; W. Hamilton Reid, *Rise and Dissolution of the Infidel Societies of This Metropolis*, Londres, 1800 ; N. Hans, *New Trends in Education in the Eighteenth Century*, Londres, 1951, p. 150 ; Harrison, *The Second Coming*, *op. cit.*, p. 46-49.

105. Berman, *Social Change and Scientific Organisation*, *op. cit.*, p. 25.

106. Thackray, *Atoms and Powers*, *op. cit.*, p. 234-238 ; A. Walker, *Analysis of a Course of Lectures on Natural and Experimental Philosophy*, Manchester, 1787, p. 20-28 ; Id., *A System of a Familiar Philosophy*, Londres, 1799, p. VII ; E.G.R. Taylor, *The Mathematical Practitioners in Hanoverian England*, Cambridge, 1966, p. 248-249.

107. W.R. Scott, *Adam Smith as Student and as Professor*, Glasgow, 1937, p. 345 ; sur les charlatans, voir Jean-Pierre Goubert, « The art of healing : Learned medicine and popular medicine in the France of 1790 », in Forster et Ranum (dir.), *Medicine and Society in France*, *op. cit.*, p. 1-23.

108. Sur le culte révolutionnaire, voir Julien Tiersot, *Les Fêtes et les chants de la Révolution*, Paris, 1908 ; Jurgis Baltrusaitis, *La Quête d'Isis*, Paris, 1967 ; François Aulard, *Le Culte de la raison et le culte de l'Être suprême*, Paris, 1892 ; Mona Ozouf, *La Fête révolutionnaire*, Paris, 1976 ; D. Botting, *Humbold and the Cosmos*, Londres, 1973, p. 19-20 ; Jean-Baptiste Salaville, *Annales patriotiques*, novembre 1793, p. 1467 ; Michel Foucault, *Surveiller et punir*, Paris, 1975, 3e partie, chap. 3 ; Jean-Sylvain Bailly, *Essai sur les fables*, Paris, 1799, vol. II, 164 *sq.* ; P.H. Melvin, « Burke on theatricality and revolution », *Journal of the History of Ideas*, 36, 1975, p. 447-468, cite le constat de Burke selon lequel les Jacobins « instituent des rites théâtraux impies, blasphémateurs, indécents en l'honneur de leur raison vicieuse et pervertie ».

109. J. Lalande, « Testament moral », in L. Amiable, *Le Franc-Maçon Lalande*, Paris, 1889, p. 16 et 49-54 ; Martin de Bussy, *L'Éther*, Paris, 1796, p. XVI.

110. Starobinski, *1789 : les emblèmes de la raison*, *op. cit.*, p. 37.

111. Jordanova et Porter (dir.), *Images of the Earth*, *op. cit.*, p. 117-146 ; Gillispie, *Science and Polity in France*, *op. cit.*, p. 194-203 ; voir C. Hannaway, « The Société royale de médecine and epidemics in the Ancien Régime », *Bulletin of the History of Medicine*, 46, 1972, p. 257-273 ; J. Peter, « Disease and the sick at the end of the eighteenth century », in R. Forster et O. Ranum (dir.), *Biology of Man in History*, Baltimore, 1975 ; D. Roche, « Talent, reason and sacrifice : The physician during the Enlightenment », in Forster et Ranum (dir.), *Medicine and Society in France, op. cit.*, p. 66-88 (sur Vicq d'Azyr), à comparer aussi à Robert Favre, *La Mort au siècle des Lumières*, Lyon, 1978, p. 244-272 ; W. Coleman, « Health and hygiene in the *Encyclopédie* », *Journal for the History of Medicine*, 7, 1974, p. 399-421.

112. L.S. Greenbaum, « Tempest in the Academy », *Archives internationales d'histoire des sciences*, 24, 1974, p. 122-142.

113. C. Duval, « Pilâtre de Rozier : chemist and first aeronaut », *Chymia*, 12, 1967, p. 99-117.

114. Nicolas Bergasse, *Lettre d'un médecin*, Paris, 1781, p. 51 et 65, cité par Darnton, *Mesmerism*, *op. cit.*, p. 84 et 121.

115. G. Sutton, « Electric medicine and mesmerism », *Isis*, 72, 1981, p. 375-392, en particulier p. 390 ; Robert Darnton, « High Enlightenment and low life of literature in pre-revolutionary France », *Past and Present*, 51, 1971, p. 85-115 n. 103 ; Darnton, *Mesmerism*, *op. cit.*, p. 95 n. 8 ; Louis Cotte, *Traité de météorologie*, Paris, 1774 ; Félix Vicq d'Azir, *Histoire de la Société royale de médecine*, 1779, vol. III, p. 61-83 ; Émile Campardon, *Les Spectacles de la foire*, Paris, 1877, vol. I, p. 214-215.

116. Gillispie, *Science and Polity in France*, *op. cit.*, p. 230 ; P.J.G. Mauduyt de La Varenne, « Mémoire sur le traitement électrique », *Mémoires de la Société royale*

de médecine, 2, 1778, p. 61-83 ; A. Cabanès, *Marat inconnu*, Paris, 1891, p. 160 ; Torlais, *L'Abbé Nollet*, *op. cit.*, p. 221, sur Robespierre et Marat.

117. Nicolas Ledru, « Nouvelles expériences électriques », *Journal de physique*, janvier 1778, p. 49-52 ; Joseph Sigaud de La Fond, *Précis historique et expérimental des phénomènes électriques*, Paris, 1785 ; Jean-Paul Marat, *Mémoire sur l'électricité médicale*, Paris, 1784 ; voir Gillispie, *Science and Polity in France*, *op. cit.*, p. 257-331 ; Jean Torlais, « Un prestidigitateur célèbre, chef de service d'électrothérapie au XVIII^e^ siècle : Ledru dit Comus », *Histoire de la médecine*, 1955, vol. V, p. 13-25 ; Sutton, « Electric medicine and mesmerism », art. cit.

118. Jean-Louis Carra, *Examen physique du magnétisme animal*, Paris, 1785, p. 3, cité par Darnton, *Mesmerism*, *op. cit.*, p. 110.

119. Garrett, *Respectable Folly*, *op. cit.*, p. 131 ; D. Valenze, « Prophecy and popular literature in eighteenth century England », *Journal of Ecclesiastical History*, 29, 1978, p. 75-92 ; E.P. Thompson, *Making of the English Working Class*, Harmondsworth, 1968, p. 127 ; G. Rudé, *Ideology and Popular Protest*, Londres, 1980, p. 133-144 ; W.R. Ward, « Swedenborgianism : Heresy, schism or religious protest ? », *Studies in Church History*, 9, 1972, p. 303-309 ; Robert Hindmarsh, *Rise and Progress of the New Jerusalem Church in England*, Londres, 1861, note 23 ; M. Pratt, *List of a Few Cures Performed by Mr. and Mrs. de Loutherbourg*, Londres, 1789 ; M. Wilson, *Life of William Blake*, Londres, 1971, p. 56 et 337 ; et voir British Library, MS Add 33498, f^o^ 22 sur la clinique de Loutherbourg, lettre du 7 juillet 1789. Sur le rapport de Blake au sujet du traitement de sa femme par l'électricité médicale en 1804, « la merveilleuse cause », voir *Complete Writings*, p. 851 (lettre à William Hayley, 23 octobre 1804, lettre n^o^ 50).

120. Sur les effets « psychosomatiques », voir J.S. Bailly, « Lettre sur la question si les animaux sont entièrement privés d'imagination » (1784), in *Discours et mémoires*, Paris, 1790, vol. II, p. 109-135. Lettre de Franklin à La Condamine, 19 mars 1784, in E.B. Smith, « Jean-Sylvain Bailly : Astronomer, mystic, revolutionary », *Transactions of the American Philosophical Society*, 44, 1954, p. 427-538, p. 489 : « Cette illusion peut toutefois dans certains cas être utilisée quand elle dure, si les gens peuvent être persuadés de supporter leurs drogues dans l'attente d'être guéris seulement par le doigt du médecin ou par la tige de fer pointée sur eux, ils peuvent probablement trouver des effets positifs. » Sur l'émergence de l'électricité médicale, voir Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 491. Pour un examen de l'opposition entre les arguments mesmériques sur la réalité des pouvoirs actifs de la nature et les intérêts de la Commission pour la défense de la cause morale, voir F. Azouvi, « Sens et fonction épistémologique de la critique du magnétisme animal par les Académies », *Revue d'histoire des sciences*, 29, 1976, p. 123-142.

121. G. Shelburn, « Pope and the great shew of nature », *Seventeenth Century Studies Presented to R.F. Jones*, Stanford, 1951, p. 306-315 ; Nicolson et Rousseau, *"This Long Disease, My Life" : Alexander Pope and the Sciences*, *op. cit.*, p. 191-193 ; Marjorie Nicolson, *Mountain Gloom and Mountain Glory*, New York, 1959 ;

W.P. Jones, *The Rhetoric of Science*, Londres, 1966 ; E.H. Gombrich, *Symbolic Images*, Londres, 1978, p. 180-191.

122. Jean Sylvain Bailly, *Histoire de l'astronomie moderne*, Paris, 1779, vol. I, p. v ; Antoine Court de Gébelin, *Histoire naturelle de la parole*, Paris, 1776 ; Adam Smith, *Essays on Philosophical Subjects*, Édimbourg, 1795, essai I ; Joshua Reynolds, « Sixth discourse (10 décembre 1774) », in *Discourses on Art*, éd. par R. Wark, New York, 1959. Sur l'histoire philosophique, voir G.T. Bryson, *Man and Society : The Scottish Inquiry of the Eighteenth Century*, Princeton, 1945 ; G.E. Davie, *The Democratic Intellect*, Édimbourg, 1961 ; L. Turco, *Dal sistema al senso commune*, Bologne, 1974, chap. 6.

123. Emmanuel Kant, *Critique de la faculté de juger,* éd. par Ferdinand Alquié, Paris, Gallimard, 1985, § 28 « La nature comme force ».

124. Smith, *Essays*, *op. cit.*, p. 23-26 ; A. Macfie, « The invisible hand of Jupiter », *Journal of the History of Ideas*, 32, 1971, p. 595-599.

125. Kant, *Critique de la faculté de juger, op. cit.*, § 28-29.

126. Sur Kant et la *Naturgeschichte*, voir P. Sloan, « Buffon, German biology and the historical interpretation of biographical species », *British Journal for the History of Science*, 12, 1979, p. 109-153, et T. Lenoir, « Kant and Blumenbach », *Isis*, 71, 1980, p. 77-108. Sur l'analogie et la sensibilité, voir John Gregory, *Comparative View of the State and Faculties of Man*, Édimbourg, 1765, p. 143-144 ; Mark Akenside, *The Pleasures of the Imagination*, Londres, 1744, et les commentaires dans C. Lawrence, « Nervous system and society in the Scottish Enlightenment », in Barnes et Shapin (dir.), *Natural Order*, *op. cit.*, p. 19-40.

127. A.C. Quatremère de Quincy, in Starobinski, *1789* : les e*mblèmes de la raison*, *op. cit.*, p. 52. C'est analysé par Ozouf, *La Fête révolutionnaire*, *op. cit.*, p. 244-252. Sur la philosophie de la nature de Coleridge, voir T.H. Levere, *Poetry Realized in Nature : Samuel Taylor Coledridge and Early Nineteenth Century Science*, Cambridge, 1981, 71 *sq.* et 171 *sq.*

CHAPITRE 4
Les techniques de l'expérimentateur, les mains du teinturier et le planétarium électrique

1. Cromwell Mortimer, « An account of some electrical experiments intended to be communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray », *Philosophical Transactions*, 39, 1736, p. 400-403, en particulier p. 403 ; Bernard de Fontenelle, « Sur l'électricité », *Histoire de l'Académie royale des sciences*, 1737, p. 2-6, en particulier p. 6 ; Granville Wheler à Benjamin Wilson, 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, f° 71 ; Wheler à Cromwell Mortimer pour Charles Dufay, 3 mars 1738, Archives, Académie des sciences, Dufay Dossier, publié in Granville Wheler, « A letter containing some remarks on the late Stephen Gray his electrical circular experiment », *Philosophical Transactions*, 41, 1738, p. 118-125, en particulier p. 124. Ici et ailleurs, les traductions sont les miennes, sinon indiquées.
2. Henry King et John Millburn, *Geared to the Stars* : *The Evolution of Planetariums, Orreries, and Astro-Nomical Clocks*, Bristol, Hilger, 1978, p. 151 (Stukeley), p. 174 (Desaguliers) et p. 91-193 (planétariums électriques) ; Marcel Mauss, « Les techniques du corps » (1936), in Id., *Sociologie et anthropologie*, précédé d'une introduction à l'œuvre de Marcel Mauss par Claude Lévi-Strauss, Paris, PUF, 1950 (trad. angl. « Body techniques », in *Sociology and Psychology* : *Essays*, éd. par Ben Brewster, Londres, Routledge, 1979, p. 97-135).
3. Heinz Otto Sibum, « Reworking the mechanical value of heat : Instruments of precision and gestures of accuracy in early Victorian England », *Studies in History and Philosophy of Science*, 26, 1995, p. 73-106, en particulier p. 76 n. 8 (citation), p. 83 et 91 ; Id., « Working experiments : A history of gestural knowledge », *Cambridge Review*, 116, 1995, p. 25-37, en particulier p. 31. Il se réfère à Michael Berlin et Robert Iliffe, « The places of skill in early modem London », communication inédite, Achievement Project, Oxford, juin 1992. Heinz Otto Sibum, « Les gestes de la mesure : Joule, les pratiques de la brasserie et la science », *Annales. Histoire, sciences sociales*, 53, 1998, p. 745-774.
4. Kathleen Ochs, « The Royal Society of London's history of trades », *Notes and Records of the Royal Society*, 39, 1985, p. 129-158 ; Jean Ehrard, « La main du travailleur, la plume du philosophe », *Milieux*, 19-20, 1984-1985, p. 47-53 ; Antoine Picon, « Gestes ouvriers, opérations et processus techniques. La vision du travail des encyclopédistes », *Recherches sur Diderot et sur l'*« *Encyclopédie* », 13, 1992, p. 131-147 ; Lorraine Daston, « Enlightenment calculations », *Critical Inquiry*, 21, 1994, p. 182-202.

5. Charles C. Gillispie, *Science and Polity in France at the End of the Old Regime*, Princeton, Princeton University Press, 1980, p. 177-178 et 346-347 ; Charles Dufay, « Observations physiques sur le mélange de quelques couleurs dans la teinture », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1737, p. 253-268, en particulier p. 253 ; P.-J. Macquer, cité in Herta Wescher, « Great masters of dyeing in eighteenth-century France. The French dyeing industry and its reorganization by Colbert », *Ciba Review*, février 1939, p. 626-641, en particulier p. 629-630 ; Lissa Roberts, « The death of the sensuous chemist », *Studies in History and Philosophy of Science*, 26, 1995, p. 503-529, en particulier p. 504 ; « Teinture », in *Encyclopedie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, éd. par Denis Diderot et Jean Le Rond d'Alembert, 17 vol., Paris, 1751-1765, vol. XVI, p. 8-31, en particulier p. 31. Dominique Pestre, « La pratique de reconstitution des expériences historiques », in Christine Blondel et Matthias Dörries (dir.), *Restaging Coulomb. Usages, controverses et réplications autour de la balance de torsion*, Florence, Olschki, 1994, p. 17-30, en particulier p. 21 où il connecte les projets de Réaumur et le travail des expériences.
6. Bernard de Fontenelle, « Éloge de M. du Fay », *Histoire de l'Académie royale des sciences*, 1739, p. 73-83 (p. 74 pour l'extrait cité). Pour les significations des mains, voir Jacques Revel, « Les usages de la civilité », in Roger Chartier (dir.), *A History of Private Life*, t. III : *Passions of the Renaissance*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1989, p. 167-205, en particulier p. 167 (publié en français, *Histoire de la vie privée*, t. III : *De la Renaissance aux Lumières*, Paris, Seuil, 1986) ; Herman Roodenburg, « The hand of friendship », in Jan Bremmer, Herman Roodenburg (dir.), *A Cultural History of Gesture* : *From Antiquity to the Present Day*, Cambridge, Polity, 1991, p. 152-189 ; Stephen Greenblatt, « Toward a universal language of motion : Reflections on a seventeenth-century muscle man », in Susan Leigh Foster (dir.), *Choreographing History*, Bloomington, Indiana University Press, 1995, p. 25-31.
7. Simon Schaffer, « Self evidence », *Critical Inquiry*, 18, 1992, p. 327-362 ; William Sewell, *Work and Revolution in France* : *The Language of Labor from the Old Regime to 1848*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980, p. 22-25 (trad. fr. *Gens de métier et révolutions. Le langage du travail, de l'Ancien Régime à 1848*, trad. de l'américain par Jean-Michel Denis, Paris, Aubier-Montaigne, 1983) ; Hélène Vérin, *La Gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e^ au XVIII^e^* siècle, Paris, Albin Michel, 1993, p. 247-252.
8. Marcus Rediker, *Between the Devil and the Deep Blue Sea*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987, p. 288-289 ; Richard Campbell, *The London Tradesman*, Londres, 1747, p. 253 ; Steven Shapin, *A Social History of Truth* : *Civility and Science in Seventeenth-Century England*, Chicago, University of Chicago Press, 1994, p. 399-400 ; Stephen Pumfrey, « Who did the work ? Experimental philosophers and public demonstrators in Augustan England », *British Journal for the History of Science*, 28, 1995, p. 131-156.

9. Francis Hauksbee, cité in Pumfrey, « Who did the work ? », art. cit.. p. 156. Newton discute Hauksbee in Isaac Newton à Hans Sloane, 14 et 17 septembre 1705, in *Correspondence of Isaac Newton*, éd. par Herbert W. Turnbull, Jonathan F. Scott, A. Rupert Hall et Laura Tilling, 7 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1959-1977., vol. IV, p. 446-448.
10. David Gregory, 15 mai 1706, in *David Gregory, Isaac Newton, and Their Circle* : *Extracts from David Gregory's Memoranda, 1677-1708*, éd. par W.G. Jiscock, Oxford, privately printed, 1937, p. 35 ; Francis Hauksbee, *Physico-Mechanical Experiments*, Londres, printed by R. Brugis, for the author, 1709, p. 46-51 ; Id., « The production of a considerable light upon a slight attrition of the hand on a glass globe exhausted of its air », *Philosophical Transactions*, 25, 1707, p. 2277-2282, en particulier p. 2281 ; Id., « A continuation of the experiments on the attrition of glass », *ibid.*, p. 2332-2335, en particulier p. 2333. Voir aussi Roderick W. Home, « Francis Hauksbee's theory of electricity », *Archive for History of Exact Sciences*, 4, 1967-1968, p. 203-217. Sur le vocabulaire de Hauksbee, voir Christian Licoppe, *La Formation de la pratique scientifique. Le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris, La Découverte, 1996, p. 140-141.
11. Stephen Gray à Sloane, 3 janvier 1708, in Robert A. Chipman, « An unpublished letter of Stephen Gray on electrical experiments, 1707-1708 », *Isis*, 45, 1954, p. 33-40, en particulier p. 35 ; John L. Heilbron, *Physics at the Royal Society During Newton's Presidency*, Los Angeles, William Andrews Clark Memorial Library, University of California, 1983, p. 59.
12. Sur Desaguliers et Gray, voir David H. Clark et Lesley Murdin, « The enigma of Stephen Gray, astronomer and scientist », *Vistas in Astronomy*, 23, 1979, p. 351-404, en particulier p. 388-389 ; Michael Ben Chaim, « Social mobility and scientific change : Stephen Gray's contribution to electrical research », *British Journal for the History of Science*, 22, 1990, p. 3-24, en particulier p. 12. Voir John T. Desaguliers, *Course of Experimental Philosophy*, 2 vol., Londres, 1734-1744, vol. I, p. 18-19 (les essais de 1716-1719), vol. II, p. 335 (mention du travail avec Gray). Cf. Royal Society, MS Journal Book 11, p. 342-343 (7 mai 1719).
13. John T. Desaguliers, *Course of Experimental Philosophy*, 2 vol., Londres, 1734-1744, vol. I, p. 19 ; Willem's Gravesande, *Mathematical Elements of Natural Philosophy Confirmed by Experiments, or An Introduction to Sir Isaac Newton's Philosophy*, trad. angl. par John T. Desaguliers, 2 vol., Londres, J. Senex & W. Taylor, 1721, vol. II, p. 2-13 ; Marten Triewald à Mortimer, 11 décembre 1728, et John T. Desaguliers à Mortimer, 27 février 1729, British Library, MS Add 4432, f^{os} 71-74 et 75-76. Pour la collaboration de Triewald avec Desaguliers in 1725, voir Larry Stewart, *The Rise of Public Science* : *Rhetoric, Technology and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992, p. 362-364.
14. Gray à John Flamsteed, 8 septembre 1708, et Gray à Sloane, 31 juillet 1711, in Robert A. Chipman, « The manuscript letters of Stephen Gray », *Isis*, 49, 1958, p. 414-433, en particulier p. 419 et 424 ; Brook Taylor à John Keill, 3 juillet 1713,

in Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 388 ; Gray à Wheler, 6 février 1736, Royal Society, MS LBC 22, p. 265. Pour Gray comme témoin aux essais dans la maison de Desaguliers, voir John T. Desaguliers, « Optical experiments made […] upon occasion of Signior Rizzetti's opticks », *Philosophical Transactions*, 35, 1728, p. 596-629, en particulier p. 629. Sur la démonstration du phénomène électrique et sa signification sociale, voir Stewart, *The Rise of Public Science*, *op. cit.*, p. 119-130 ; Pumfrey, « Who did the work ? », art. cit., p. 153-155 ; Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 392-403.

15. Stephen Gray, « An account of some new electrical experiments », *Philosophical Transactions*, 31, 1720, p. 104-107. Pour les démonstrations à la Royal Society, voir Royal Society, MS Journal Book 12, p. 63-65 (novembre 1720 ?) ; pour le rôle de Desaguliers, voir John T. Desaguliers, « Some thoughts and experiments concerning electricity », *Philosophical Transactions*, 41, 1739, p. 186-193, en particulier p. 187 ; Stephen Gray, « A letter containing several experiments concerning electricity », *ibid.*, 37, 1731, p. 18-44, en particulier p. 18. Sur Williams à propos de la dextérité de Gray, voir Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 404 ; sur Stukeley à propos du tour de main de Gray, voir I. Bernard Cohen, « Neglected sources for the life of Stephen Gray », *Isis*, 14, 1954, p. 43 ; sur les techniques manuelles, voir William Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life* (1752), éd. par Hastings White, Londres, Taylor & Francis, 1936, p. 54-55.

16. Gray à Flamsteed, 4 mai 1706, et Gray à Sloane, 31 juillet 1711, cité in Chipman, « The Manuscript letters of Stephen Gray », art. cit., p. 419-420, et in Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit. p. 355.

17. *The Whole Art of Dyeing*, Londres, printed by William Pearson for J. Sprint, 1705, p. 82, 98 et 119. Ce volume est une traduction de la compilation faite à Iéna en 1703 de textes allemands : *Ars tinctoria experimentalis* (1685) et *Nachricht von der Pott- und Weyd- Asche* (1685), et de l'*Instruction générale pour la teinture des laines* (1671), de Jean-Baptiste Colbert. Sur les sources, voir Wescher, « Great masters of dyeing in eighteenth-century France », art. cit., p. 643-646. Christopher W. Chalklin, *Seventeenth Century Kent* : *A Social and Economic History*, Londres, Longmans, 1965, p. 126-128. Sur les règlements de fabrication : Archibald Clow et Nan L. Clow, *The Chemical Revolution*, Londres, Batchworth, 1952, p. 199-203 ; Albert E. Musson et Eric Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, Manchester, Manchester University Press, 1969, p. 338-342.

18. Gray, « An account of some new electrical experiments », art. cit., n. 17 ; Gray à Sloane, 3 janvier 1708, in Chipman, « An unpublished letter of Stephen Gray », art. cit., p. 35. Sur les premières expériences de Gray, voir I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton*, Philadelphie, American Philosophical Society, 1956, p. 370 ; Roderick W. Home, *The Effluvial Theory of Electricity*, New York, Arno, 1981, p. 46-47.

19. Dufay, « Observations physiques », art. cit., p. 253. Sur Hunt, voir Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 356 ; John L. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries* : *A Study of Early Modern Physics*, Berkeley, University of California Press, 1979, p. 243 n. 43. Sur Dufay comme administrateur, voir Fontenelle, « Éloge de M. du Fay », art. cit., p. 76-77 ; Wescher, « Great masters of dyeing in eighteenth-century France », art. cit., p. 631-632 ; Gillispie, *Science and Polity in France*, *op. cit.*, p. 407-408.

20. Gad Freudenthal, « Early electricity between chemistry and physics : The simultaneous itineraries of Francis Hauksbee, Samuel Wall and Pierre Polinière », *Historical Studies in Physical Sciences*, 11, 1981, p. 211 et 218. Sur les huilles sulfureuses, William Petty, « An apparatus to the history of the common practices of dying » (1662), in Thomas Sprat, *History of the Royal Society* : *For the Improving of Natural Knowledge*, Londres, printed by T.R. for J. Martyn & J. Allestry, printers to the Royal Society, 1667, p. 292. Sur les autres rôles joués par la chimie des huiles onctueuses dans l'électricité, voir Gad Freudenthal, « Clandestine stoic concepts in mechanical philosophy : The problem of electrical attraction », in Judith V. Field et Frank A.J.L. James (dir.), *Renaissance and Revolution* : *Humanists, Scholars, Craftsmen, and Natural Philosophers in Early Modern Europe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, p. 161-172.

21. Gray, « A letter containing several experiments », art. cit., p. 44 ; Charles Dufay, « A letter concerning electricity », *Philosophical Transactions*, 38, 1734, p. 258-266, en particulier p. 259-260 (cf. Charles Dufay, « Troisième mémoire sur l'électricité. Des corps qui sont les plus vivement attirés par les matières électriques », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1733, p. 233-254, en particulier p. 239) ; Stephen Gray, « A letter containing some experiments relating to electricity », *Philosophical Transactions*, 39, 1735, p. 166-170. Voir encore Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 254. Sur les essais similaires de Wheler sur différentes soies colorées à l'automne 1732, voir Granville Wheler, « Some electrical experiments chiefly regarding the repulsive force of electrical bodies », *Philosophical Transactions*, 41, 1739, p. 98-111, en particulier p. 104-110. Sur les essais de teinture et la théorie des couleurs, voir Alan Shapiro, *Fits, Passions, and Paroxysms*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, p. 260-261.

22. Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 355-356 et 392-393 ; *The Victoria History of County of Kent*, vol. III, éd. par William Page, Londres, Dawsons, 1932, p. 409 ; Chalklin, *Seventeenth Century Kent*, *op. cit.*, p. 117. Voir les commentaires de Defoe dans *A Tour Through the Whole Island of Great Britain (1724-1726)*, éd. par Pat Rogers, Harmondsworth, Penguin, 1971, p. 131-135. En 1705, il peut y avoir eu une connexion entre Defoe et Gray (via Flamsteed), depuis que les deux ont raconté le fameux épisode de Mme Veal et du fantôme de Canterbury : en septembre 1705, Mme Veal, une habitante de Canterbury récemment décédée, apparut sous la forme d'un fantôme à sa voisine Mme Bargrave pour l'avertir contre les périls d'une vie immortelle. L'épisode attira l'attention des commentateurs à Londres, où Flamsteed transmit un compte rendu

de Gray, et où Defoe publia un fameux pamphlet sur ce cas. Voir Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 373.

23. *Catalogue of the Entire Library of the Late Reverend Granville Wheler of Otterden Place in Kent*, Londres, 1771 ; George Wheler, *Autobiography of Sir George Wheler*, éd. par Edward G. Wheler, Birmingham, Cornish, 1911, p. 13-14 ; George Wheler, *The Protestant Monastery or Christian Oeconomicks*, Londres, 1698, p. 177 (sur les arts vertueux), p. 62 (sur les domestiques) ; Edward Hasted, *History and Topographical Survey of the County of Kent*, 12 vol., Canterbury, printed by W. Bristow, 1797-1801 (2e éd.), vol. V, p. 537-538 ; Thomas Rackett, *A Description of Otterden Place and Church*, Londres, Nichols, 1832, p. 6-7 (sur la famille Wheler) ; Dorothy Gardiner, *The Oxinden Letters*, Londres, Constable, 1933, p. XXIV (sur la noblesse de l'est du Kent).

24. Wheler à Wilson, 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, fo 71 ; Gray, « Letter containing several experiments », art. cit., p. 18-19 et 25. Le travail de Gray est décrit dans Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 245-249. Son introduction du nouveau concept de communication électrique est bien analysé dans Ben Chaim, « Social mobility and scientific change », art. cit., p. 16-20.

25. Royal Society, MS Council Minutes 3 (15 novembre 1731) ; Royal Society, MS Journal Book 14, p. 268-269 (22 mars 1733). Sur la visite de Dufay, voir Fontenelle, « Éloge de M. du Fay », art. cit., p. 78 ; pour sa reproduction des expérimentations, voir Dufay, « Troisième mémoire », art. cit., p. 246-247. Sur le vocabulaire centré sur les instruments de Gray et de Wheler, voir Licoppe, *La Formation de la pratique scientifique*, *op. cit.*, p. 149-151.

26. Gray, « Letter containing several experiments », art. cit., p. 19, 26-31, 33 et 43. Sur la noblesse du Kent et les corporations urbaines, voir Peter Laslett, « The gentry of Kent in 1640 », *Cambridge Historical Journal*, 9, 1948, p. 152. Sur les questions de l'intimité domestique, voir Linda Pollock, « Living on the stage of the world : The concept of privacy among the elite of early modern England », in Adrian Wilson (dir.), *Rethinking Social History* : *English Society, 1570-1920, and Its Interpretation*, Manchester, Manchester University Press, 1993, p. 78-96, en particulier p. 89-90.

27. Gray, « Letter containing several experiments », art. cit., p. 32 ; Royal Society, MS Journal Book 14, p. 412 (4 avril 1734) (sur les aimants), p. 33 (sur le fer chaud) ; Stephen Gray, « A letter containing a farther account of his experiments concerning electricity », *Philosophical Transactions*, 37, 1732, p. 285-291, en particulier p. 289 ; Id., « Two letters containing farther accounts of his experiments concerning electricity », *ibid.*, p. 397-407, en particulier p. 399 (sur les vertus électriques dans le vide).

28. Gray, « Two letters containing farther accounts », art. cit., p. 398 ; Wheler, « Some electrical experiments », art. cit., p. 111. Voir Arthur Quinn, « Repulsive force in England, 1706-1744 », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 13, 1982, p. 110-

128, en particulier p. 119-120. Hauksbee emploie les termes de « force répulsive » in *Physico-Mechanical Experiments*, *op. cit.*, p. 43.

29. Wheler, « Some electrical experiments », art. cit., p. 111. Wheler fut le premier à décrire publiquement ses essais à l'automne 1732 sur l'attraction et la répulsion, voir la lettre de Wheler à Mortimer, 7 juin 1736, Royal Society, MS LBC 22, p. 381-382. Hales utilisa le travail de Gray dans son propre compte rendu de la circulation du sang : voir Stephen Hales, *Statical Essays*, vol. II : *Haemastatics*, Londres, printed for W. Innys, T. Woodward & J. Peele, 1733, p. 58 *sq.*

30. Gray, « Letter containing several experiments », art. cit., p. 39-42 ; Id., « Two letters containing farther accounts », art. cit., p. 399-402 ; Charles Dufay, « A letter to His Grace Charles Duke of Richmond and Lenox concerning electricity », *Philosophical Transactions*, 38, 1734, p. 258-266, en particulier p. 261 ; Dufay, « Troisième mémoire », art. cit., p. 253 ; Royal Society, MS Journal Book 14, p. 404-406 ; Stephen Gray, « Experiments and observations upon the light that is produced by communicating electrical attraction to animal or inanimate bodies », *Philosophical Transactions*, 39, 1735, p. 16-24, en particulier p. 18 et 24.

31. Gray, « Two letters containing farther accounts », art. cit., p. 399 ; Wheler, « Some electrical experiments », art. cit., p. 106 ; Gray, « Experiments and observations », art. cit., p. 21 ; Id., « Letter containing some experiments relating to electricity », art. cit., p. 168.

32. Gray, « Experiments and observations », art. cit., p. 19 ; Wheler à Wilson, 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, f° 71 (sur la viande française) ; Wheler, « Some electrical experiments », art. cit., p. 98 (sur l'autorité auctoriale). Sur Wheler comme magicien, voir Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 393. Sur Desaguliers comme « magicien de pacotille », voir British Library, MS Add 38175, f° 215. Sur Desaguliers comme « magicien », voir Benjamin Martin, *Supplement Containing Remarks on a Rhapsody of Adventures by a Modern Knight Errant in Philosophy*, Bath, printed for the author, 1746, p. 29 n. Cf. Id., *Young Gentleman and Lady's Philosophy*, 2 vol., Londres, printed and sold by W. Owen and by the author, 1759-1763, vol. I, p. 316. Sur Desaguliers comme « prestidigitateur », voir Stewart, *The Rise of Public Science*, *op. cit.*, p. 200.

33. Mortimer à John Gray, 14 juin 1737, Royal Society, MS LBC 26, p. 90-91 ; Wheler à Mortimer, 21 novembre 1737, Royal Society, MS LBC 24, p. 48-49 ; Wheler à Benjamin Adams, 6 décembre 1737, Royal Society Box File 54 ; Wheler à Mortimer, 25 avril 1738, Royal Society, MS LBC 24, p. 318-319. Sur l'inventaire de l'équipement de Gray, voir Clark et Murdin, « The enigma of Stephen Gray », art. cit., p. 399-400.

34. Desaguliers à Sloane, 4 mars 1731, British Library, MS Add 4051, f° 201 ; Edmond Halley, 20 mai 1731, Royal Society, MS Journal Book 14, p. 101-102 ; John T. Desaguliers, « Some thoughts concerning electricity », Royal Society, MS Letters and Papers, 18 (2), 34, f^os^ 399-400, 3 juin 1731 ; Stewart, *The Rise of Public*

Science, *op. cit.*, p. 129. Concernant les vues newtoniennes sur l'électricité et la gravité, « De vi electrica », in *Correspondence of Isaac Newton*, *op. cit.*, vol. V, p. 362-369 ; Roderick W. Home, « Newton on electricity and the aether », in Zev Bechler (dir.), *Contemporary Newtonian Research*, Dordrecht, Reidel, 1982, p. 191-213. Sur les planétaires newtoniens, voir King et Millburn, *Geared to the Stars*, *op. cit.*, p. 152-153.

35. Dufay à Mortimer, 19 janvier 1736, Royal Society, MS LBC 22, p. 175 ; Dufay à Mortimer, 13 mars 1736, Royal Society, MS MM 20.20 ; Charles Dufay, « Septième mémoire sur l'électricité. Quelques additions aux mémoires précédents », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1737, p. 86-100, en particulier p. 86-87 ; Id., « Huitième mémoire sur l'électricité », *ibid.*, p. 307-325, en particulier p. 308-309.

36. Stephen Gray, « Letter concerning the revolutions which small pendulous bodies will by electricity make round large ones from west to east as the planets do round the Sun », *Philosophical Transactions*, 39, 1736, p. 220 ; Mortimer, « An account of some electrical experiments », art. cit., p. 400-403.

37. *Ibid.*, p. 403, et les compléments inédits in Royal Society RBC 19, p. 364 ; le rapport de Wheler, Royal Society, MS Journal Book 15, p. 297 (1er avril 1736).

38. Wheler à Mortimer, 19 avril 1736, et Mortimer à Wheler, 24 avril 1736, Royal Society, MS LBC 22, p. 278-282, et LBC 26, p. 61 ; Royal Society, MS Journal Book 15, p. 312-314 (22 avril 1736) et 336 (20 mai 1736).

39. Wheler à Mortimer, 7 juin 1736, Royal Society, MS LBC 22, p. 368-381 ; et Royal Society, MS Journal Book, 15, p. 359-362 (24 juin 1736).

40. *Ibid.*, p. 359-362 (24 juin 1736), 364 (1er juillet 1736).

41. Wheler, « Some electrical experiments », art. cit., p. 103-104. Sur la répulsion à longue portée dans les années 1720, voir Benjamin Worster, *A Compendious and Methodical Account of the Principles of Natural Philosophy*, Londres, printed for the author, 1722, p. 28, discuté in Quinn, « Repulsive force in England », art. cit., p. 115 ; et à propos des notes sur les conférences de Nicholas Saunderson en 1729, Cambridge University Library, MS Add 589, f^{o} 87r^{o} (cité in Niccolò Guicciardini, « Gravitation and the stars », *Journal for the History of Astronomy*, 16, 1985, p. 221-223).

42. Wheler à Mortimer, 24 juin 1736, Royal Society, MS LBC 22, p. 384-388 ; Wheler à Wilson, 29 janvier 1748, British Library, MS Add 30094, f^{o} 59.

43. Dufay, « Septième mémoire », art. cit., p. 91 ; Dufay à Mortimer, 27 juillet 1736, Royal Society, MS MM 20.21. Sur les messages à Dufay de Londres à l'été 1736, voir Dufay, « Huitième mémoire », art. cit., p. 310.

44. *Ibid.*, p. 316. Cf. le résumé enthousiaste de Fontenelle dans « Sur l'électricité », art. cit., p. 5. Fontenelle fait la critique de Joseph Privat de Molières, *Leçons de physique*, 4 vol., Paris, Veuve Brocas, 1734-1739, vol. III, in *Histoire de l'Académie*

royale des sciences, 1737, p. 36-45, voir en particulier p. 44 ; voir encore Guerlac, *Newton on the Continent*, *op. cit.*, p. 70.

45. Dufay, « Septième mémoire », art. cit., p. 86 ; cette experimentation est copiée dans Royal Society, MS RBC 20, p. 265- 285. Cf. Royal Society, MS Journal Book 16, p. 74 (31 mars 1737), p. 82 (7 avril 1737) et p. 94 (5 mai 1737). Sur Dufay surveillant Desaguliers et Mortimer au printemps 1737, voir « Huitième mémoire », art. cit., p. 313.

46. Wheler à Mortimer, 1er et 11 avril 1737, Royal Society, MS Box File 54, no 1 et 2 ; Wheler à Mortimer, 4 et 26 avril 1737, Royal Society, MS LBC 23, p. 288-298 ; Royal Society, MS Journal Book 16, p. 90 (28 avril 1737). Sur Dufay à propos de l'isolement de Wheler, voir « Huitième mémoire », art. cit., p. 317.

47. Cromwell Mortimer, « Report of the electrical experiments made by Granville Wheler », British Library, MS Add 4453, fos 258-259, et Royal Society, MS RBC 20, p. 339-346 ; sur la version publiée, voir Id., « An account of some of the electrical experiments made by Granville Wheler », *Philosophical Transactions*, 41, 1739, p. 112-117.

48. Royal Society, MS Journal Book 16, p. 95-96 (12 mai 1737) ; Cromwell Mortimer, « An account of what further electrical experiments Mr. Wheler hath made », British Library, MS Add 4433, fos 260-261, et Royal Society, MS RBC 20, p. 347-350.

49. Mortimer à Dufay, 22 septembre 1737, Royal Society, MS LBC 24, p. 14-15, LBC 26, p. 96-97 ; Wheler à Wilson, 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, fo 71 ; Wheler à Mortimer, 21 novembre 1737, Royal Society, MS LBC 24, p. 48-49 ; Wheler à Dufay, 21 novembre 1737, Archives, Académie des sciences, Dufay Dossier.

50. Desaguliers, « Some thoughts and experiments concerning electricity », art. cit. ; Royal Society, MS Journal Book 16, p. 183-184 (26 janvier 1738) et p. 211 (9 mars 1738) ; Wheler à Wilson, 29 janvier et 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, fos 59 et 71. Sur le travail de Desaguliers résumé dans *A Dissertation Concerning Electricity*, Londres, printed for W. Innys and T. Longman, 1742, et discuté dans Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 292 ; Quinn, « Repulsive force in England », art. cit., p. 121-126 ; Home, *The Effluvial Theory of Electricity*, *op. cit.*, p. 69-71. Sur la réquisition de l'équipement de Gray et les problèmes de transport, voir Mortimer à John Gray, 14 juin 1737, Royal Society, MS LBC 26, p. 90-91 ; Wheler à Mortimer, 21 novembre 1737, Royal Society, MS LBC 24, p. 48-49 ; Wheler à Adams, 6 décembre 1737, Royal Society Box File 54 ; Wheler à Mortimer, 19 décembre 1737, Royal Society, MS LBC 24, p. 88-89.

51. Wheler, « Some electrical experiments », art. cit.

52. Wheler, « A letter containing some remarks », art. cit. ; Wheler à Dufay, 21 novembre 1737 et 6 mars 1738, Archives, Académie des sciences, Dufay Dossier ; Wheler à Mortimer, 9 mars 1738, Royal Society, MS Box File 54, no 3 ;

Royal Society, MS Journal Book 16, p. 214-215 ; Wheler à Wilson, 7 septembre 1748, British Library, MS Add 30094, f° 71.

53. Musschenbroek, *Elements of Natural Philosophy*, *op. cit.*, vol. I, p. 193-194 ; Johann Doppelmayr, *Neu-entdeckte Phaenomena von Bewunders-würdigen Würckungen der Natur*, Nuremberg, J.J. Fleischmann, 1744, p. 18-19. Sur le développement des spectacles mettant en scène des hommes électrifiés, voir Willem D. Hackmann, *Electricity from Glass* : *The History of the Frictional Electrical Machine, 1600-1850*, Alphen aan den Rijn, Sijthoff & Noordhoff, 1978, p. 69-72 ; Heilbron, *Electricity*, *op. cit.*, p. 264-269 et 279-280.

54. Wheler à Mortimer, 25 avril 1738, Royal Society, MS LBC 24, p. 318-319. Sur la possession par Wheler des textes sur l'électricité de Franklin et de Priestley, voir *Catalogue of the Entire Library*, *op. cit.* ; pour ses observations sur la comète de 1744, voir Frances Hastings à Theophilus Hastings, 28 janvier 1744, in *Historical Manuscripts Commission Report on the Papers of Reginald Rawdon Hastings*, 3 vol., Londres, His Majesty's Stationers Office, 1934, vol. III, p. 42 ; sur les rotations d'est en ouest, voir Granville Wheler, « Two letters concerning a rotatory motion of glass tubes about their axes », *Philosophical Transactions*, 43, 1745, p. 341-348.

55. Dufay, « Huitième mémoire », art. cit., p. 309.

56. *Ibid.*, p. 316.

57. *Ibid.*, p. 321.

58. *Ibid.*, p. 323.

59. *Ibid.*

60. *Ibid.*, p. 309, 316-317, 321-322 et 323 ; Fontenelle, « Sur l'électricité », art. cit., p. 5. Sur l'effacement de la preuve sensible, voir Roberts, « Death of the sensuous chemist », art. cit., p. 507. Concernant le travail de Nollet sur l'autodiscipline, voir Schaffer, « Self evidence », art. cit., p. 345-348.

61. Sibum, « Reworking the mechanical value of heat », art. cit., p. 74. Voir aussi Wescher, « Great masters of dyeing », art. cit., p. 628-632 ; Henry Guerlac, « Some French antecedents of the chemical revolution », *Chymia*, 5, 1959, p. 73-112, en particulier p. 77-79 ; Daniel Roche, *The Culture of Clothing : Dress and Fashion in Ancien Regime France*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994, p. 283-285 (trad. angl. de *La Culture des apparences. Une histoire du vêtement, XVII^e^-XVIII^e^* siècle, Paris, Fayard, 1989) ; Licoppe, *La Formation de la pratique scientifique*, *op. cit.*, p. 116-124 ; Gillispie, *Science and Polity in France*, *op. cit.*, p. 346.

62. Fontenelle, « Éloge de M. du Fay », art. cit., p. 76-77 ; Jean Hellot, *The Art of Dyeing Wool* (1750), Londres, Scott, Greenwood, 1901, p. 10-13 ; Barbara Whitney Keyser, « Between science and craft : The case of Berthollet and dyeing », *Annals of Science*, 47, 1990, p. 213-260, en particulier p. 219. Sur le contrôleur général et la métrologie, voir Witold Kula, *Measures and Men* (1970), Princeton, Princeton University Press, 1986, p. 173 (trad. fr. *Les Mesures et les hommes*, traduit du polonais par Joanna Ritt, texte établi et revu par Krzysztof Pomian et Jacques

Revel, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 1984). Sur la rémunération des postes de tenturiers, voir Isaac Benguigui, *Théories électriques du XVIII^e siècle. Correspondance entre l'abbé Nollet (1700-1770) et le physicien genevois Jean Jallabert (1712-1768)*, Genève, Georg, 1984, p. 92.

63. Dufay, « Observations physiques », art. cit., p. 253-254 ; Hellot, *Art of Dyeing Wool*, *op. cit.*, p. 10. Voir aussi Guerlac, « Some French antecedents of the chemical revolution », art. cit., p. 79 ; John Beer, « Eighteenth century theories on the process of dyeing », *Isis*, 51, 1960, p. 21-30, en particulier p. 23-25. Sur la formation aux Gobelins, voir Édouard Gerspach, *La Manufacture nationale des Gobelins*, Paris, Delagrave, 1892, p. 156-157 et 236-237.

64. Nathaniel Spinckes, *The Spirit of Enthusiasm Exorcised*, Londres, printed for Richard Sare, 1709, p. 499 ; Wheler à Dufay, 21 novembre 1737, Archives, Académie des sciences, Dufay Dossier. Le système de formation aux Gobelins établi en 1737 est pris comme la forme d'une discipline classique : Michel Foucault, *Discipline and Punish*, Harmondsworth, Penguin, 1979, p. 156-157 (trad. angl. de *Surveiller et punir. Naissance de la prison*, Paris, Gallimard, 1975).

65. Hackmann, *Electricity from Glass*, *op. cit.*, p. 70 et 81 ; Pumfrey, « Who did the work ? », art. cit., p. 138-139 ; Benguigui, *Théories électriques*, *op. cit.*, p. 118 ; William Watson, « Further experiments and observations tending to illustrate the nature and properties of electricity », *Philosophical Transactions*, 44, 1746, p. 41-57, en particulier p. 41 ; Id., « A sequel to the experiments and observations tending to illustrate the nature and properties of electricity », *ibid.*, p. 704-749, en particulier p. 705 ; Martin, *Young Gentleman and Lady's Philosophy*, *op. cit.*, vol. I, p. 312.

66. Robert Muchembled, « The order of gestures », in Bremmer et Roodenburg (dir.), *Cultural History of Gesture*, *op. cit.*, p. 129-151, en particulier p. 131-132 ; David Sudnow, *Ways of the Hand* : *The Organization of Improvised Conduct*, Cambridge (MA), MIT Press, 1993, p. 142-143 ; Hugh Kenner, *The Mechanic Muse*, Oxford, Oxford University Press, 1987 ; Shapin, *A Social History of Truth*, *op. cit.*, p. 362, 376 ; Iwan Morus, « Currents from the underworld : Electricity and the technology of display in early Victorian England », *Isis*, 84, 1993, p. 50-69 ; Id., « Different experimental lives : Michael Faraday and William Sturgeon », *History of Science*, 30, 1992, p. 1-28.

67. Sibum, « Reworking the mechanical value of heat », art. cit., p. 75-83 ; Id., « Working experiments : Bodies, machines, and heat values », in Richard Staley (dir.), *The Physics of Empire*, Cambridge, Whipple Museum, 1994, p. 29-56, en particulier p. 38. Cf. Peter Heering, « The replication of the torsion balance experiment », in Blondel et Dörries (dir.), *Restaging Coulomb*, *op. cit.*, p. 47-66. Sur l'inadéquation des traces écrites avec les guides à l'usage des réplications, voir H.M. Collins, *Changing Order* : *Replication and Induction in Scientific Practice*, Beverly Hills, Sage, 1985, p. 73-74. Voir Ian Hacking, *The Emergence of Probability*,

Cambridge, Cambridge University Press, 1975, p. 35-37, sur les « sciences basses » (*low sciences*) et la notion de diagnostic et d'aventure.

CHAPITRE 5
Mesurer la vertu : eudiométrie, Lumières et médecine pneumatique

1. Lettre de Pietro Verri à Alessandro Verri, 26 février 1780, citée par Peter K. Knoefel, *Felice Fontana* : *Life and Works*, Trente, Società di studi trentini di scienze storiche, 1984, p. 142. Pour les bains et les villes thermales comme lieux du débat médical, C.F. Mullett, « Public baths and health in England », *Supplements to the Bulletin of the History of Medicine*, 5, 1946, p. 1-85, et plus particulièrement George S. Rousseau, « Matt Bramble and the sulphur controversy », *Journal of the History of Ideas*, 28, 1967, p. 577-589.
2. R. Watermann, « Eudiometrie (1772-1805) », *Technikgeschichte*, 35, 1968, p. 292-319.
3. Maurice Crosland, « A practical perspective on Joseph Priestley as a natural philosopher », *British Journal for the History of Science*, 16, 1983, 16, p. 223-238 ; Simon Schaffer, « Priestley's questions », *History of Science*, 16, 1984, p. 151-183.
4. Christopher J. Lawrence, « Priestley in Tahiti », in Christopher J. Lawrence et Roger G.W. Anderson (dir.), *Science, Medicine and Dissent* : *Joseph Priestley*, Londres, Wellcome Institute for the History of Medicine, 1987, p. 1-10.
5. Michel Foucault, *Surveiller et punir*, Paris, 1975, (trad. angl. *Discipline and Punish*, Harmondsworth, Penguin, 1979, p. 202-203) ; *The Works of Jeremy Bentham*, éd. par John Bowring, 11 vol., Édimbourg, W. Tait, 1838-1848, vol. IV, p. 63-64.
6. Joseph Priestley, *History and Present State of Electricity*, 2 vol., Londres, 1775 (3^{e} éd.), vol. I, p. II-IV ; John G. McEvoy, « Electricity, knowledge and the nature of progress in Priestley's thought », *British Journal for the History of Science*, 12, 1979, p. 1-30.
7. Joseph Priestley, *Hartley's Theory of the Human Mind*, Londres, J. Johnson, 1775, p. XI-XX ; Jeremy Bentham, *Fragment on Government*, éd. par F.C. Montague, Londres, Milford, 1931, p. 93-94. À comparer avec Joseph Priestley, *Remarks on Some Paragraphs in the Fourth Volume of Dr. Blackstone's Commentary on the Laws of England*, Londres, printed for J. Johnson and J. Payne, 1769.
8. Simon Schaffer, « Priestley and the politics of spirit », in Lawrence et Anderson (dir.), *Science, Medicine and Dissent*, *op. cit.*, p. 39-54.

9. Lawrence, « Priestley in Tahiti », in *ibid.*, p. 5-6 ; Dorothea W. Singer, « Sir John Pringle and his circle », *Annals of Science*, 6, 1948-1950, p. 127-180 et 229-261.
10. Douglas McKie, « Joseph Priestley and the Copley Medal », *Ambix*, 9, 1961, p. 1-22 ; Joseph Priestley, « On the noxious quality of the effluvia of putrid marshes », *Philosophical Transactions*, 64, 1774, p. 90-95, en particulier p. 90-91 ; Jan Ingenhousz, *Experiments upon Vegetables*, Londres, printed for P. Elmsly and H. Payne, 1779, « préface » (trad. fr. Jean Ingenhousz, *Expériences sur les végétaux*, traduit de l'anglais par l'auteur, nouv. éd., Paris, T. Barrois, 1787-1789) ; Thomas Percival, « Observations on the medicinal uses of fixed air », in Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, printed for J. Johnson, 1775 (2e éd.), vol. I, p. 288-324.
11. Albert Goodwin, *The Friends of Liberty*, Londres, Hutchinson, 1979, chap. 3 ; Dorothy Stansfield, *Thomas Beddoes* : *Chemist, Physician, Democrat*, Dordrecht, Kluwer Academic, 1984, chap. 7 ; Maureen McNeil, *Under the Banner of Science : Erasmus Darwin and His Age*, Manchester, Manchester University Press, 1987, chap. 6. Voir aussi Thomas Beddoes, *Notice of Some Observations Made at the Medical Pneumatic Institution*, Bristol, 1799, p. 26-27.
12. Joseph Priestley, « Observations on different kinds of air », *Philosophical Transactions*, 62, 1772, p. 147-264, en particulier p. 162 ; Id., *Experiments and Observations*, *op. cit.*, vol. I, p. 111 ; Id., *Experiments and Observations on Different Kinds of Air and Other Branches of Natural Philosophy*, 3 vol., Birmingham, printed by T. Pearson, 1790, vol. I, p. 359.
13. Stephen Hales, *Vegetable Staticks*, Londres, printed for W. and J. Innys, and T. Woodward, 1727, p. 183-184.
14. William Brownrigg, « An experimental enquiry into the mineral elastic spirit of air contained in spa water », *Philosophical Transactions*, 55, 1765, p. 218-248 ; John Parascandola et Aaron Ihde, « History of the pneumatic trough », *Isis*, 60, 1969, p. 351-360 ; N. Coley, « Physicians and the chemical analysis of mineral waters in eighteenth century England », *Medical History*, 26, 1982, p. 123-144.
15. Joseph Priestley, *History of Electricity*, Londres, 1767, p. 598.
16. Id., *Experiments and Observations*, éd. 1790, vol. I, p. 354-364 ; Aaron Ihde, « Priestley and Lavoisier », in Lester Kieft, Bennett Willeford *et al.* (dir.), *Joseph Priestley* : *Scientist, Theologian, and Metaphysician*, Lewisburg, Bucknell University Press, 1980, p. 62-91, en particulier p. 66-68.
17. John G.A. Pocock, « Virtue and commerce in the eighteenth century », *Journal of Interdisciplinary History*, 3, 1972, p. 119-134 ; John G. McEvoy et J.E. McGuire, « God and Nature : Priestley's way of rational dissent », *Historical Studies in Physical Science*, 6, 1975, p. 325-404 ; Henri Laboucheix, « Chemistry, materialism and theology in the work of Joseph Priestley », *Price-Priestley Newsletter*, 1, 1977, p. 31-48.

18. Priestley, « Observations on different kinds of air », art. cit., p. 162 ; à comparer avec Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, printed for J. Johnson, 1774 (1re éd.), vol. I, p. 53. Voir John G. McEvoy, « Joseph Priestley, aerial philosopher : Metaphysics and methodology in Priestley's chemical thought, 1772-1781 », *Ambix*, 25, 1978, p. 1-55, 93-116, 153-175, et *Ambix*, 26, 1979, p. 16-38, 96-101 et 158-164.

19. Sur la viciation, la corruption et l'air fixé, voir Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, printed for J. Johnson, 1776 (2e éd.), vol. II, p. 115-119 ; sur la viciation, la corruption et l'électricité nerveuse, voir Priestley, *Experiments and Observations* (2e éd.), *op. cit.*, vol. I, p. 274-279.

20. McKie, « Joseph Priestley and the Copley Medal », art. cit., p. 9.

21. Priestley, *Experiments and Observations* (1re éd.), *op. cit.*, vol. II, p. 39-40 ; Id., *Experiments and Observations*, éd. 1790, vol. II, p. 102-119.

22. Frederic L. Holmes, *Lavoisier and the Chemistry of Life* : *An Exploration of Scientific Creativity*, Madison, University of Wisconsin Press, 1985, p. 33.

23. Carleton E. Perrin, « Prelude to Lavoisier's theory of calcination : Some observations on *Mercurius calcinatus per se* », *Ambix*, 16, 1969, p. 140-151.

24. Holmes, *Lavoisier*, *op. cit.*, p. 48-62.

25. Priestley, *Experiments and Observations*, 1776 (2e éd.), *op. cit.*, vol. II, p. 40-49 et 100-103 ; lettre de Priestley à Boulton, 1777, in R.E. Schofield (dir.), *Scientific Autobiography of Joseph Priestley, 1733-1804. Selected Scientific Correspondence*, éd. par Robert E. Schofield, Cambridge (MA), MIT Press, 1967, p. 161-162 ; Priestley, avec Richard Price, « On the noxious quality of the effluvia of putrid marshes », *Philosophical Transactions*, 64, 1774, p. 90-98. Sur les relations entre agriculture et eudiométrie, voir Priestley, *Experiments and Observations*, éd. 1790, *op. cit.*, vol. III, p. 305 ; *Autobiography of Arthur Young*, éd. par Matilda Betham-Edwards, Londres, Smith, Elder & Co., 1898, p. 99 et 150-153 ; McNeil, *Under the Banner of Science*, *op. cit.*, p. 180-183. Pour le marché, voir J.H. de Magellan, *Description of a Glass Apparatus*, Londres, printed for the author, 1783 (3e éd.), p. IV, et comparer à J.V. Golinski, « Utility and audience in eighteenth-century chemistry », *British Journal for the History of Science*, 21, 1988, p. 1-32 et 17-23.

26. Priestley, *Experiments and Observations* (2e éd.), *op. cit.*, vol. III, p. 379-380 ; Magellan, *Description*, *op. cit.*, p. 29-30 ; *Correspondence of Jeremy Bentham*, éd. par Timothy L.S. Sprigge *et al.*, 12 vol., Londres, Athlone Press, 1968-2006, vol. I, p. 210-216, 225-226, 314-315 et 344 ; *Scientific Autobiography of Joseph Priestley*, *op. cit.*, p. 182-186.

27. Knoefel, *Felice Fontana*, *op. cit.*, partie I.

28. Sur Landriani, voir Pietro Moscati, *Dei vantaggi della educazione filosofica nello studio della chimica* (1784), éd. par Luigi Belloni, Milan, Ciba, 1961, p. 70-86.

29. Howard S. Reed, « Jan Ingenhousz : Plant physiologist with a history of the discovery of photosynthesis », *Chronica Botanica*, 11, 1949, p. 285-396 et 291-294. Pour Ingenhousz à propos de la vaccination, voir P. van der Pas, « The Ingenhousz-Jenner correspondence », *Janus*, 51, 1964, p. 202-220. Sur la campagne pour l'inoculation et Pringle, voir Antoinette S. Emch-Dériaz, « L'inoculation justifiée […] vraiment ? », *Bulletin canadien d'histoire de la médecine*, 2, 1985, p. 237-263.

30. Antonio Pace, *Franklin and Italy*, Philadelphie, The American Philosophical Society, 1958, chap. 2.

31. James Riley, *The Eighteenth Century Campaign to Avoid Disease*, Londres, Macmillan, 1987, chap. 2.

32. Franco Venturi, *Utopia and Reform in the Enlightenment*, Cambridge, Cambridge University Press, 1971, p. 100 et 135.

33. R. Burr Litchfield, *Emergence of a Bureaucracy* : *The Florentine Patricians, 1530-1790*, Princeton, Princeton University Press, 1986, chap. 14.

34. Gabriele Turi, *Viva Maria* : *la reazione alle riforme leopoldine, 1790-1799*, Florence, Olschki, 1969, p. 139.

35. *Illuministi Italiani*, t. III : *Riformatori Lombardi, Piemontesi e Toscani*, éd. par Franco Venturi, Milan et Naples, Ricciardi, 1958, p. 207 ; Dino Carpanetto et Giuseppe Ricuperati, *Italy in the Age of Reason, 1685-1789*, Londres, Longman, 1987, p. 210 et 225-229 ; Knoefel, *Felice Fontana*, *op. cit.*, p. 85 et 184.

36. Franco Venturi, « Quattro anni di carestia in Toscana, 1764-1767 », *Rivista storica Italiana*, 88, 1976, p. 649-707 ; Id., « Scienza e riforma nella Toscana del Settecento : Targioni Tozzetti, Lapi, Montelatici, Fontana e Pagnini », *ibid.*, 89, 1977, p. 77-105.

37. Eric Cochrane, *Florence in the Forgotten Centuries* : *A History of Florence and the Florentines in the Age of the Grand Dukes*, Chicago, University Press of Chicago, 1973, p. 433 ; Andrea Corsini, « La medicina alla corte di Pietro Leopoldo », *Rivista Ciba*, 46, 1954, p. 1510-1540.

38. George Mora, « Vincenzo Chiarugi (1759-1820) and his psychiatric reform in Florence in the late 18th century », *Journal of the History of Medicine*, 14, 1959, p. 424-433.

39. Carpanetto et Ricuperati, *Italy in the Age of Reason*, *op. cit.*, p. 213 ; Eric Cochrane, *Tradition and Enlightenment in the Tuscan Academies* : *1690-1800*, Rome, Edizioni di Storia e Letteratura, 1961, p. 151-156. Dans cet effort, les Toscans partagent les mêmes vues que Beccaria, dont les cours sur « l'agriculture politique » (1769-1770) démontrent que le cléricalisme et les préjugés des paysans sont les obstacles principaux à l'usage d'une science médicale dans la réforme rurale : Cesare Beccaria, « Elementi di economia pubblica », in *Illuministi Italiani*, t. III, *op. cit.*, p. 172. Ils furent en outre aidés par la publication de textes anciens sur les pneumatiques et le drainage, incluant celui de Sallustio Bandini, *Discorso sopra la*

Maremma di Siena (1737), publié en 1775 ; voir *Illuministi Italiani*, t. III, *op. cit.*, p. 883-894.

40. Luigi Belloni, « L'eudiometro del Landriani (contributo medico alla storia dell'eudiometria) », in *Actes du Symposium international sur les sciences naturelles, la chimie et la pharmacie de 1630 à 1850 (Florence-Vinci, 8-10 octobre 1960)*, Vinci, Gruppo italiano di storia delle scienze, 1962, p. 130-151.
41. Marsilio Landriani, *Ricerche fisiche intorno alla salubrità dell'aria*, Milan, Nella stamperia di Giuseppe Marelli, 1775, p. XI.
42. Belloni, « L'eudiometro del Landriani », art. cit., p. 133.
43. Pace, *Franklin in Italy*, *op. cit.*, p. 26 et 39-40.
44. Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, printed for J. Johnson, 1777, vol. III, p. 380-381.
45. Peter K. Knoefel, « Famine and fever in Tuscany », *Physis*, 21, 1979, p. 7-35 ; Felice Fontana, *Osservazioni sopra la ruggine del grano*, Lucques, nella stamperia di Jacopo Giusti, 1767.
46. Id., « Recherches physiques sur l'air fixe », *Observations sur la physique*, 6, 1775, p. 280-289.
47. Knoefel, *Felice Fontana*, *op. cit.*, p. 165-173 ; Ingenhousz, *Experiments upon Vegetables*, *op. cit.*, p. 152-181 (trad. fr. *Expériences sur les végétaux*, *op. cit.*).
48. M. Foisil, « Les attitudes devant la mort au XVIII^e^ siècle : sépultures et supressions des sépultures dans le cimetière des Saints-Innocents », *Revue historique*, 510, 1974, p. 303-330 ; Caroline Hannaway et Owen Hannaway, « La fermeture du cimetière des Innocents », *Dix-huitième siècle*, 9, 1977, p. 181-191 et 187-188 ; Riley, *The Eighteenth Century Campaign to Avoid Disease*, *op. cit.*, p. 109.
49. Jean Erhard, « Opinions médicales en France au XVIII^e^ siècle : la peste et l'idée de la contagion », *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 12, 1957, p. 46-59 ; Alain Corbin, *Le Miasme et la jonquille. L'odorat et l'imaginaire social, XVIII^e^-XIX^e^ siècles*, Paris, Flammarion, « Champs Histoire », 1986, chap. 1.
50. Caroline Hannaway, « The Société royale de médecine and epidemics in the Ancien Régime », *Bulletin of the History of Medicine*, 46, 1972, p. 257-273 ; *Illuministi Italiani*, t. III, *op. cit.*, p. 1085.
51. C. Hannaway et O. Hannaway, « La fermeture du cimetière des Innocents », art. cit., p. 186, à comparer avec Ingenhousz, *Experiments upon Vegetables*, *op. cit.*, conclusion (trad. fr. *Expériences sur les végétaux*, *op. cit.*).
52. Louis S. Mercier cité par Corbin, *Le Miasme et la jonquille*, *op. cit.*, p. 106.
53. John McManners, *Death and the Enlightenment*, Oxford, Clarendon Press, 1985, p. 314 ; Ruth Richardson, *Death, Dissection and the Destitute*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1987, chap. 1.

54. Alex Berman, « The Cadet Circle », *Bulletin of the History of Medicine*, 40, 1966, p. 101-111.

55. Felice Fontana, *Recherches physiques sur la nature de l'air nitreux et de l'air déphlogistiqué*, Paris, Nyon l'aîné, 1776, p. 128 et 155.

56. Holmes, *Lavoisier*, *op. cit.*, p. 82-89, 170 et 201.

57. Jan Ingenhousz, « Easy methods of measuring the diminution of bulk, taking place upon the mixture of common air nitrous air », *Philosophical Transactions*, 66, 1776, p. 257-267.

58. *Scientific Autobiography of Joseph Priestley*, *op. cit.*, p. 161-162 ; *Correspondence of Jeremy Bentham*, *op. cit.*, vol. I, p. 314-315 et 344.

59. Felice Fontana, « Experiments and observations on the inflammable air breathed by animals », *Philosophical Transactions*, 69, 1779, p. 337-361.

60. Jan Ingenhousz, « Account of a new ind of inflammable air », *Philosophical Transactions*, 69, 1779, p. 376-418.

61. Jan Ingenhousz, *Experiments upon Vegetables*, *op. cit.*, p. 129 et 152 (trad. fr. *Expériences sur les végétaux*, *op. cit.*). À comparer avec Id., « Observations sur la construction et l'usage de l'eudiomètre de M. Fontana », *Journal philosophique*, 26, 1785, p. 339-359.

62. Clément Duval, « Pilâtre de Rozier : Chemist and first aeronaut », *Chymia*, 12, 1967, p. 99-117 ; Charles C. Gillispie, *The Montgolfier Brothers and the Invention of Aviation*, Princeton, Princeton University Press, 1983. Pour le rôle futur du Musée et de l'Athénée de Paris sur l'hygiène, voir William Coleman, *Death Is a Social Disease*, Madison, University of Wisconsin Press, 1982, p. 18 ; Barbara Haines, « The Athénée de Paris and the Bourbon restoration », *History and Technology*, 5, 1988, p. 249-272, en particulier p. 251 et 262.

63. Sur la chimie ancienne, comparer à Antoine Lavoisier, « Mémoire sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux », in *Recueil de mémoires sur la formation et la fabrication du salpêtre*, Paris, Lacombe, 1776, p. 601-617, en particulier p. 617 ; Pierre Macquer, *Dictionnaire de chimie*, 2 vol., Paris, Imprimerie de Monsieur, 1778 (2e éd.)., vol. II, p. 352, cité par Wilda Anderson, *Between the Library and the Laboratory*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1984, p. 74.

64. Felice Fontana, « Lettre à M. le duc de Chaulnes », *Observations sur la physique*, 23, 1783, p. 262-269 ; Tiberius Cavallo, *Treatise on the Nature and Properties of Air*, Londres, printed for the author, 1781, p. 344-359.

65. Felice Fontana, « Account of the airs extracted from different kinds of waters », *Philosophical Transactions*, 69, 1779, p. 432-453 ; Pascale Cosma-Muller, « Entre science et commerce : les eaux minérales en France à la fin de l'Ancien Régime », in Jean-Pierre Goubert (dir.), *La Médicalisation de la société française, 1770-1830*, Waterloo, Historical Reflections Press, 1982, p. 249-262.

66. Jan Ingenhousz, « On the degree of the salubrity of the common air at sea », *Philosophical Transactions*, 70, 1780, p. 354-377. Pour un cas similaire de reconciliation avec la croyance médicale populaire, voir la conclusion de son livre *Experiments upon Vegetables* où il se réfère aux effets néfastes des arbres qui obstruent la lumière.

67. Belloni, « L'eudiometro del Landriani », art. cit., p. 146-148 ; Magellan, *Description*, *op. cit.*, p. 48.

68. W.A. Osman, « Alessandro Volta and the inflammable air eudiometer », *Annals of Science*, 15, 1959, p. 215-242. À comparer avec les commentaires de Magellan en 1777 affirmant que le premier travail de Volta sur l'air inflammable devrait être utilisé pour aider les eudiométristes à enquêter sur les sites miasmiques : Magellan, *Description*, *op. cit.*, p. 30-31.

69. *Scientific Autobiography of Joseph Priestley*, *op. cit.*, p. 157 ; John L. Helbron, *Elements of Early Modern Physics*, Berkeley, University of California Press, 1982, p. 210 ; Jan Ingenhousz, « Improvements in electricity », *Philosophical Transactions*, 69, 1779, p. 661-673.

70. *Scientific Autobiography of Joseph Priestley*, *op. cit.*, p. 181.

71. Henry Cavendish, « An account of a new eudiometer », *Philosophical Transactions*, 73, 1783, p. 106.

72. Priestley, *Experiments and Observations*, éd. 1777, *op. cit.*, vol. III, p. 379 ; Magellan, *Description*, *op. cit.*, p. 67 ; Cavallo, *Treatise*, *op. cit.*, p. 326-333. Pour l'hostilité de Banks à Cavallo, voir *Autobiography of Arthur Young*, *op. cit.*, p. 151.

73. Thomas Day, *Considerations on Different Ways of Removing Confined or Infections Air*, Maidstone, J. Black, 1784, p. 28-29. Pour la controverse sur l'eau, voir Henry Cavendish, « Experiment on air », *Philosophical Transactions*, 74, 1784, p. 119-153 ; Jean-Baptiste M.C. Meusnier de La Place et Antoine L. Lavoisier, « Mémoire où l'on prouve par la décomposition de l'eau que ce fluide n'est point une substance simple », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1781, p. 269-283 ; James R. Partington, *A History of Chemistry*, Londres, Macmillan, 1962, vol. III, p. 325-338 ; Holmes, *Lavoisier*, *op. cit.*, chap. 7.

74. Jean Senebier, *Recherches sur l'influence de la lumière solaire*, Genève, Chirol, 1783, p. 297-301. Pour le développement de l'eudiométrie chimique après les années 1780 comprenant l'utilisation des essais avec du phosphore, de l'hydrogène, du sulphide de potassium, voir Partington, *A History of Chemistry*, *op. cit.*, vol. III, p. 325 ; Watermann, « Eudiometrie », art. cit.

75. Jean-Baptiste M.C. Meusnier de La Place et Antoine L. Lavoisier, « Extrait d'un mémoire où l'on prouve par la décomposition de l'eau que ce fluide n'est point une substance simple », *Observations sur la physique*, 24, 1784, p. 368-380 ; Felice Fontana, « Extrait d'expériences sur la décomposition de l'eau », *Observations sur la physique*, 27, 1785, p. 228-229.

76. Knoefel, *Felice Fontana*, *op. cit.*, p. 84 ; Cochrane, *Florence in the Forgotten Centuries*, *op. cit.*, p. 430.

77. À comparer avec George Wilson, *The Life of the Hon. Henry Cavendish, including abstracts of his more important scientific papers, and a critical inquiry into the claims of all the alleged discoverers of the composition of water*, Londres, printed for the Cavendish Society, 1851, p. 230-231 : « Nous avons encore autant besoin d'un eudiomètre, à proprement parler, que les contemporains de Priestley et de Cavendish […] La médecine comme la météorologie et la chimie portent un profond intérêt à de telles enquêtes et nous pouvons anticiper la période où le laboratoire formera une part essentielle de nos observatoires météorologiques. »

78. Riley, *Eighteenth Century Campaign to Avoid Desease*, *op. cit.*, p. 51.

79. Louis Jurine, « Mémoire sur les avantages que la médecine peut retirer des eudiomètres », *Mémoires de la Société royale de médecine*, 10, 1789, p. 19-100.

80. Corbin, *Le Miasme et la jonquille*, *op. cit.*, chap. 2, et pour l'hygième sous la Restauration, voir William Coleman, *Death Is a Social Disease* : *Public Health and Political Economy in Early Industrial France*, Madison, University of Wisconsin Press, 1982, p. 14-24.

81. Corbin, *Le Miasme et la jonquille*, *op. cit.*, p. 63.

82. Peter Mathias, « Swords and ploughshares : The armed forces, medicine and public health in the late eighteenth century », in Id., *The Transformation of England* : *Essays in the Economic and Social History of England in the Eighteenth Century*, Londres, Methuen, 1979, chap. 14 ; Martin Fitzpatrick, « Science and society in the Enlightenment », *Enlightenment and Dissent*, 4, 1985, p. 83-106 ; van der Pas, « The Ingenhousz-Jenner correspondence », art. cit. Sur les critiques pneumatiques de Jenner, voir Thomas Beddoes, *Contributions to Physical and Medical Knowledge*, Londres, T.N. Longman & O. Rees, 1799, p. 387-402.

83. *Correspondence of Jeremy Bentham*, *op. cit.*, vol. I, p. 214 et 216 ; *ibid.*, vol. II, p. 315 ; pour les objets pneumatiques, voir *The Works of Jeremy Bentham*, *op. cit.*, vol. VIII, p. 119-120.

84. Pour le ministère de la Santé, voir *The Works of Jeremy Bentham's Works*, *op. cit.*, vol. IX, p. 439-445. Pour la police médicale et le caméralisme, voir George Rosen, *From Medical Police to Social Medicine* : *Essays on the History of Health Care*, New York, Science History Publications, 1974, p. 120-141 et 189-190 ; Michel Foucault, « La politique de la santé au XVIII^e^ siècle », in Michel Foucault, Blandine Barret-Kriegel, Anne Thalamy *et al.*, *Les Machines à guérir (aux origines de l'hôpital moderne)*, Paris, Institut de l'Environnement, 1976 ; Marc Raeff, *The Well Ordered Police State* : *Social and Insitutional Change Thought Law in the Germanies and Russia, 1600-1800*, New Haven, Yale University Press, 1983, p. 119-135. Voir Benjamin Spector, « Jeremy Bentham : His influence upon medical thought and legislation », *Bulletin of the History of Medicine*, 37, 1963, p. 25-42. Concernant les intérêts eudiométriques partagés par Bentham et les philosophes, la question de la

« dette » de Chadwick à l'égard de Bentham ou des hygiénistes français devient oiseuse. Voir Ann F. La Berge, « Edwin Chadwick and the French connection », *Bulletin of the History of Medicine*, 62, 1988, p. 23-41 ; Samuel E. Finer, « The transmission of Benthamite ideas », in Gillian Sutherland (dir.), *Studies in the Growth of Nineteenth Century Government*, Londres, Routledge, 1972, p. 11-32.

85. Mary P. Mack, *Jeremy Bentham* : *An Odissey of Ideas, 1748-1792*, Londres, Heinemann, 1962, p. 264, cite Bentham MS, University College, Londres, 27.13. Ce n'était que l'expression des preuves parlementaires avancées par Southwood Smith en 1840 : le gouvernement doit soulager les pauvres des « sources des poisons et des maladies », sinon « l'effet est le même que si vingt ou trente mille d'entre eux étaient chaque année enlevés de leurs maisons naufragées et mis à mort », Gertrude Lewes, *Dr. Southwood Smith* : *A Retrospect*, Edinburgh, Blackwood, 1898, p. 104.

86. Sur la comparaison médicale chez Bentham, voir *The Works of Jeremy Bentham*, *op. cit.*, vol. I, p. 304-305 et 367 ; vol. II, p. 204 ; Ross Harrison, *Bentham*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1983, p. 141, cite Bentham MS, University College, Londres, 32.6 ; Mack, *Jeremy Bentham*, *op. cit.*, p. 264-266. Concernant la « pathologie mentale », voir Jeremy Bentham, *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*, Oxford, Clarendon Press, 1876, p. VII ; pour la cure, voir Bentham, *Fragment on Government*, *op. cit.*, p. 224. À comparer avec Richardson, *Death, Dissection and the Destitute*, *op. cit.*, p. 107-114.

87. Edward Chadwick, *Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population of Great Britain* (1842), éd. par M.W. Flinn, Edimbourg, University Press, 1965, p. 29-43 et 167 ; Thomas Southwood Smith, *Treatise on Fever*, Londres, Longman, 1830, p. 324 ; Roger Cooter, « Anticontagionism : History's medical record », in Peter Wright et Andrew Treacher (dir.), *The Problem of Medical Knowledge* : *Examining the Social Construction of Medicine*, Édimbourg, Edinburgh University Press, 1982, p. 87-108. À comparer avec Southwood Smith, *Treatise on Fever*, *op. cit.*, p. 349 : « Vegetable and animal matter, during the process of putrefaction, give off a principle or give origin to a new compound, which when applied to the huamn body, produces the phenomena constituting fever. » Voir F.N.L. Poynter, « Thomas Southwood Smith – the man (1788-1861) », *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 55, 1962, p. 381-392.

CHAPITRE 6
Quand les astronomes marquent leur temps. Discipline et « équation personnelle »

1. Edwin G. Boring, « Beginning and growth of measurement in psychology », in Harry Wolf (dir.), *Quantification* : *A History of the Meaning of Measurement in the Natural and Social Sciences*, New York, History of Science Society, 1961, p. 108-127.
2. *Ibid.*, p. 115-118 ; Nevil Maskelyne, *Astronomical Observations Made at the Royal Observatory at Greenwich*, 4 vol., Londres, 1799-1800, vol. III, p. 319 ; Friedrich W. Bessel, *Abhandlungen*, éd. par Rudolph Engelmann, 3 vol., Leipzig, W. Engelmann, 1875-1876, vol. III, p. 300-304.
3. Edwin G. Boring, *A History of Experimental Psychology*, New York, Appleton-Century-Crofts, 1950 (2e éd.), p. 137 ; Stephen M. Stigler, *The History of Statistics* : *The Measurement of Uncertainty Before 1900*, Cambridge (MA), Belknap Press, 1986, p. 240-242.
4. George B. Airy, « Remarks upon certain cases of personal equation which appear to have escaped further notice », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 16, 1856, p. 6-7 ; Derek Howse, *Greenwich Observatory* : *The Story of Britain's Oldest Scientific Institution, the Royal Observatory at Greenwich and Herstmonceux, 1675-1975*, t. III : *The Buildings and Instruments*, Londres, Taylor & Francis, 1975, p. 45 ; Jim A. Bennett, « George Biddell Airy and horology », *Annals of Science*, 37, 1980, p. 269-285, en particulier p. 279 ; Henry C. King, « Instrumentation of the nineteenth and early twentieth centuries », *Vistas in Astronomy*, 20, 1976, p. 157-163.
5. Raynor Duncombe, « Personal equation in astronomy », *Popular Astronomy*, 53, 1945, p. 63-76.
6. Boring, « Beginning and growth of measurement in psychology », art. cit., p. 116 ; Id., *A History of Experimental Psychology*, *op. cit.*, p. 147-149 ; Johan J. de Jaager, *Origins of Psychometry*, éd. par Josef Brozek et Maarten S. Sibinga, Nieuwkoop, De Graaf, 1970, p. 43-48.
7. Pour la quantification en psychologie, voir François Bresson, « Problèmes de la mathématisation en psychologie », in Georges Canguilhem (dir.), *La Mathématisation des doctrines informes*, actes du colloque (Paris, 24-26 juin 1970), Paris, Hermann, 1972, p. 135-149. Pour les critiques de Boring, voir Josef Brozek, « F.C. Donders and the timing of mental operations », *Psychological Reports*, 26, 1970, p. 563-569 ; Kurt Danziger, « The social origins of modern

psychology », in Allan R. Buss (dir.), *Psychology in Social Context*, New York, Irvington, 1979, p. 27-45 ; John M. O'Donnell, « The crisis of experimentalism in the 1920s : E.G. Boring and the uses of history », *American Psychologist*, 34, 1979, p. 289-295.

8. M. Norton Wise et Crosbie Smith, « Measurement, work, and industry in Lord Kelvin's Britain », *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, 17, 1986, p. 147-173 ; M. Norton Wise, « Mediating machines », *Science in Context*, 2, 1988, p. 79-115.
9. Thomas S. Kuhn, « The function of measurement in modern physical sciences », in Woolf (dir.), *Quantification*, *op. cit.*, p. 31-63.
10. Michael M. Sokal, Audrey B. Davis et Uta C. Merzbach, « Laboratory instruments in the history of psychology », *Journal of the History of the Behavorial Sciences*, 12, 1976, p. 59-64.
11. Steven Shapin, « Pump and circumstance : Robert Boyle's literary technology », *Social Studies of Science*, 14, 1984, p. 481-520.
12. Harry Collins, *Changing Order* : *Replication and Induction in Scientific Practice*, Londres, Sage, 1985, p. 100-106.
13. Andrew Pickering, *Constructing Quarks* : *A Sociological History of Particle Physics*, Édimbourg, Edinburgh University Press, 1984 ; Trevor J. Pinch, *Confronting Nature*, Dordrecht, Reidel, 1986 ; Peter Galison, *How Experiments End*, Chicago, University of Chicago Press, 1987, p. 267-270 ; Id., « History, philosophy, and the central metaphor », *Science in Context*, 2, 1988, p. 199-214.
14. E. Walter Maunder, *The Royal Observatory Greenwich* : *A Glance at Its History and Work*, Londres, Religious Tract Society, 1900, p. 98 et 137-139 ; Arthur J. Meadows, *Greenwich Observatory*, t. II : *Recent History, 1836-1975*, Londres, Taylor & Francis, 1975, p. 7-14.
15. William Ellis, « Some reminiscences », *The Observatory*, 20, 1897, p. 312-318, en particulier p. 313-314.
16. Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, *op. cit.*, p. 188-192 ; Howse, *Greenwich Observatory*, t. III : *The Buildings and Instruments*, *op. cit.*, p. 45-46 ; Meadows, *Greenwich Observatory*, *op. cit.*, p. 35-38.
17. George B. Airy, *Autobiography*, éd. par Wilfrid Airy, Cambridge, Cambridge University Press, 1896, p. 203.
18. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, Londres, Knight, 1835 (3e éd.), p. 191-196 ; Maxine Berg, *The Machinery Question and the Making of Political Economy, 1815-1848*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980, p. 182-191.
19. Airy, *Autobiography*, *op. cit.*, p. 216 ; P.S. Laurie, « The observer's life », *Vistas in Astronomy*, 20, 1976, p. 189 ; Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, *op. cit.*, p. 100, 137 et 140 ; Meadows, *Greenwich Observatory*, *op. cit.*, p. 9-10.

20. James G. Crowther, *Scientific Types*, Londres, Barrie & Rockliff, 1968, p. 360.
21. Meadows, *Greenwich Observatory*, *op. cit.*, p. 69.
22. Airy, *Autobiography*, *op. cit.*, p. 215-216 ; Bennett, « George Biddell Airy and horology », art. cit., p. 282.
23. Allan Chapman, « Sir George Airy and the concept of international standards in science, timekeeping and navigation », *Vistas in Astronomy*, 28, 1985, p. 321-328.
24. Daniel R. Headrick, *The Tools of Empire* : *Technology and European Imperialism in the Nineteenth Century*, Oxford, Oxford University Press, 1981.
25. François Jean Dominique Arago, *Comptes rendus*, 36, 1853, p. 276-284.
26. Frances M. Cowan, « An account of the founding of the Central Observatory of Poulkova », *Popular Astronomy*, 20, 1912, p. 415-423 ; Marian Card Donnelly, *A Short History of Observatories*, Eugene, Oregon University Press, 1973, p. 57-74 ; A.J.M. Szanser, « F.G.W. Struve (1793-1864), astronomer at the Pulkovo Observatory », *Annals of Science*, 28, 1972, p. 327-346 ; Nathan Reingold, « Cleveland Abbe at Pulkovo : Theory and practice in the nineteenth century physical sciences », *Archives internationales de l'histoire des sciences*, 17, 1964, p. 133-147, la citation p. 139.
27. Derek Howse, *Greenwich Time and the Discovery of the Longitude*, Oxford, Oxford University Press, 1980 ; Stephen Kern, *The Culture of Time and Space, 1880-1918*, Londres, Weidenfeld & Nicolson, 1983, p. 11-16.
28. Susan Faye Cannon, *Science in Culture* : *The Early Victorian Period*, New York, Science History Publications, 1978, p. 73-110 ; John Herschel, « Address », in *Report of the Fifteenth Meeting of the British Association for the Advancement of Science*, Londres, John Murray, 1846, p. XXVII-XLIV, en particulier p. XXIX ; John Cawood, « Terrestrial magnetism and the development of international collaboration in the early nineteenth century », *Annals of Science*, 34, 1977, p. 551-587.
29. Bruno Latour, « Give me a laboratory and I will raise the world », in Karin Knorr-Cetina et Michael Mulkay (dir.), *Science Observed*, Londres, Sage, 1983, p. 141-170.
30. Herschel, « Address », art. cit., p. XXXV.
31. Airy, *Autobiography*, *op. cit.*, p. 166.
32. Meadows, *Greenwich Observatory*, *op. cit.*, p. 34-35.
33. Ormsby M. Mitchel, « On personal equation », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 18, 1858, p. 261-264 ; Id., *Popular Astronomy*, Londres, Routledge, 1860, p. 195 ; Norriss Hetherington, « Mid-nineteenth-century American astronomy : Science in a developing nation », *Annals of Science*, 40, 1983, p. 61-80, citation p. 75.

34. Meadows, *Greenwich Observatory*, *op. cit.*, p. 35 ; Airy, *Autobiography*, *op. cit.*, p. 218 et 222-223.
35. Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, *op. cit.*, p. 175-177.
36. Alphonse Quetelet, « Sur la différence des longitudes des observatoires royaux de Greenwich et de Bruxelles », *Nouveaux mémoires de l'Académie royale des sciences et belles-lettres de Bruxelles*, 16, 1843, p. 13.
37. Nevil Maskelyne, *Astronomical Observations Made at the Royal Observatory at Greenwich*, 4 vol., Londres, 1799-1800, vol. III, p. 339-400.
38. Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, *op. cit.*, p. 177.
39. Airy, *Autobiography*, *op. cit.*, p. 221-222.
40. Thomas Romney Robinson, *First Armagh Catalogue of Stars*, Dublin, 1859, p. X-XII.
41. Robert P. Graves, *Life of Sir William Rowan Hamilton*, 3 vol., Dublin, Dublin University Press, 1882-1889, vol. I, p. 432.
42. Mitchel, *Popular Astronomy*, *op. cit.*, p. 176.
43. Herschel, « Address », art. cit., p. XXXIV.
44. Mitchel, *Popular Astronomy*, *op. cit.*, p. 195.
45. Hetherington, « Mid-nineteenth-century American astronomy », art. cit., p. 75-76.
46. Russell McCormmach, « O.M. Mitchel's *Sidereal Messenger*, 1846-1848 », *Proceedings of the American Philosophical Society*, 110, 1966, p. 35-47.
47. Ormsby M. Mitchel, *The Planetary and Stellar Worlds*, Londres, T. Nelson, 1850, p. 5.
48. *Ibid.*, p. 21.
49. John H. Brooke, « Natural theology and the plurality of worlds », *Annals of Science*, 34, 1977, p. 221-286 ; Ronald Numbers, *Creation by Natural Law : Laplace's Nebular Hypothesis in American Thought*, Seattle, University of Washington Press, 1977.
50. *Ibid.*, p. 35-36 ; Bessie Z. Jones, « Diary of the two bonds : 1846-1849, part 2 », *Harvard Library Bulletin*, 16, 1968, p. 49-71, en particulier p. 57-61.
51. National Library of Scotland (Édimbourg), Combe Papers 7240, lettre de John Pringle Nichol à George Combe, 13 janvier et 21 novembre 1836.
52. National Library of Scotland (Édimbourg), Combe Papers 7296, lettre de John Pringle Nichol à George Combe, 25 février 1848.
53. James Coutts, *History of the University of Glasgow*, Glasgow, Maclehose, 1909, p. 389-390.
54. Pour un exemple d'observatoire de la Renaissance, voir le brillant article d'Owen Hannaway, « Laboratory design and the aim of science : Andreas Libavius versus Tycho Brahe », *Isis*, 77, 1986, p. 585-610, qui explore les liens subtils entre

l'architecture et la conception de la recherche astronomique, montrant les transformations idéologiques à l'œuvre dans de tels bâtiments.

55. Donnelly, *A Short History of Observatories*, *op. cit.*, p. 55 et 147.

56. John Herschel, « An address delivered at the anniversary meeting of the Astronomical Society of London, feb. 13, 1829 » (1829), in Id., *Essays from the Edinburgh and Quarterly Reviews*, Londres, Longman, Brown, Green, Longmans & Roberts, 1857, p. 504-518, ici p. 514.

57. Dieter Herrman, « Some aspects of positional astronomy from Bradley to Bessel », *Vistas in Astronomy*, 20, 1976, p. 183-186 ; Raynor Duncombe, « Personal equation in astronomy », *Popular Astronomy*, 53, 1945, p. 2-13, 63-76 et 110-121 ; Stigler, *The History of Statistics*, *op. cit.*, p. 140-148 et 202-203.

58. Mari Williams, « Attempts to measure annual stellar parallax : Hooke to Bessel », thèse de doctorat, Londres, University of London, 1981 ; *Briefwechsel zwischen Olbers und Bessel*, éd. par Adolph Erman, 2 vol., Leipzig, Avernarius, 1852, vol. I, p. 96-98. Sur le contexte des travaux de Bessel, voir les excellents travaux de Williams, « Attempts to measure annual stellar parallax », *op. cit.*, chap. 4.

59. Herschel, « An address delivered at the anniversary meeting of the Astronomical Society of London, feb. 13, 1829 », art. cit., p. 510.

60. Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, *op. cit.*, p. 15.

61. Richard Yeo, « Scientific method and the image of science, 1831-1891 », in Roy M. Macleod et Peter Collins (dir.), *The Parliament of Science* : *The British Association for the Advancement of Science, 1831-1981*, Northwood, Science Monographs, 1981, p. 65-88 ; Id., « Scientific method and the rhetoric of science in Britain, 1830-1917 », in John A. Schuster et Richard Yeo (dir.), *The Politics and Rhetorics of Scientific Method*, Dordrecht, Reidel, 1986, p. 259-297.

62. Isaac Todhunter, *William Whewell, D.D.*, Londres, Macmillan, 1876, p. 199.

63. William Whewell, *History of the Inductive Sciences from the Earliest to the Present Time* (1837), Londres, J.W. Parker, 1857, p. 221-223 et 473-474.

64. Id., « Address », in *Report of the Third Meeting of the British Association for the Advancement of Science*, Londres, John Murray, 1834, p. III et XXIII-XXIV ; Jack B. Morrell et Arnold Thackray, *Gentlemen of Science* : *Early Years of the British Association for the Advancement of Science*, Oxford, Oxford University Press, 1981, p. 267-275.

65. John Cawood, « The magentic crusade : Science and politics in early Victorian England », *Isis*, 70, 1979, p. 493-518.

66. Morrell et Thackray, *Gentlemen of Science*, *op. cit.*, p. 328 et 372-386.

67. George B. Airy, « Report on the progress of astronomy during the present century », in *Report of the Second Meeting of the British Association for the Advancement of Science*, Londres, John Murray, 1832, p. 182-187.

68. Whewell, « Address », art. cit., p. xx-xxi ; Morrell et Thackray, *Gentlemen of Science*, *op. cit.*, p. 509-512 ; Meadows, *Greenwich Observatory*, *op. cit.*, p. 29-32.

69. Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, *op. cit.*, p. 13-15 et 143.

70. Michael J. Crowe, *The Extraterrestrial Life Debate, 1750-1900*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986, p. 490 et 505-506.

71. John Lankford, « Amateurs versus professional : The transatlantic debate over the measurement of Jovian longitude », *Journal of the British Astronomical Association*, 89, 1979, p. 574-582 ; Id., « Amateurs and astrophysics : A neglected aspect in the development of a scientific specialty », *Social Studies of Science*, 11, 1981, p. 275-303 ; Mari Williams, « Astronomy in London, 1860-1900 », *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 28, 1987, p. 10-26.

72. John L.E. Dreyer et Herbert H. Turner, *History of the Royal Astronomical Society, 1820-1920*, Londres, Wheldon & Wesley, 1923, p. 173-178 et 207-211 ; Arthur J. Meadows, *Science and Controversy* : A *Biography of Sir Norman Lockyer*, Londres, Macmillan, 1972, chap. 4.

73. Arthur F. O'D. Alexander, *The Planet Saturn* : *A History of Observation, Theory, and Discovery*, Londres, Faber & Faber, 1962, p. 201-203 ; Stanley Williams, « Large versus small telescopes and the spots of Saturn », *The Observatory*, 19, 1896, p. 112-114 ; John Lankford, « Amateurs versus professionals : The controversy over telescope size in late Victorian science », *Isis*, 7, 1981, p. 11-28, en particulier p. 26.

74. Crowe, *The Extraterrestrial Life Debate*, *op. cit.*, chap. 10 ; Norriss Hetherington, « Amateurs versus professionals : The British Astronomical Association and the controversy over the canals on Mars », *Journal of the British Astronomical Association*, 86, 1976, p. 303-308 ; John Burnett, « British studies of Mars, 1877-1914 », *Journal of the British Astronomical Association*, 89, 1979, p. 136-143 ; William G. Hoyt, *Lowell and Mars*, Tucson, University of Arizona Press, 1976.

75. Howard L. Kelley, *The History of the British Astronomical Association* : *The First Fifty Years*, Hounslow West, British Astronomical Association, 1948 ; Peggy A. Kidwell, « Women astronomers in Britain, 1780-1930 », *Isis*, 75, 1984, p. 534-546, en particulier p. 538-539 ; H.P. Hollis, « Captain Noble », *The Observatory*, 27, 1904, p. 298-300.

76. Lankford, « Amateurs versus professionals : The controversy over telescope size », art. cit., p. 21-22.

77. G.A. Wilkins, « The expanding role of H.M. Nautical Almanac Office, 1818-1975 », *Vistas in Astronomy*, 20, 1976, p. 239-243.

78. William Noble, « Anomalies of vision as affecting the observations of faint stars », *Astronomical Register*, 15, 1878, p. 222 et 329 ; Id., « Presidential address », *Journal of the British Astronomical Association*, 1, 1890, p. 49-58 ; Id., « Presidential address », *Journal of the British Astronomical Association*, 3, 1892, p. 3-7 ; Id., [On the Meeting of the Royal Astronomical Society], *The Observatory*, 19, 1896, p. 72 ;

Agnes Clerke, *A Popular History of the Astronomy During the Nineteenth Century*, Édimbourg, A. & C. Black, 1887, p. 6-7.

79. Howard Plotkin, « Astronomers versus the Navy : The revolt of American astronomers over the management of the US Naval Observatory, 1877-1902 », *Proceedings of the American Philosophical Society*, 122, 1978, p. 385-399.

80. Simon Newcomb, *Astronomical and Meteorological Observations Made at the US Naval Observatory*, app. 3, Washington (DC), 1867.

81. John Lankford, « Photography and the long-focus visual refactor : Three American case-studies, 1885-1914 », *Journal for the History of Astronomy*, 14, 1983, p. 77-91.

82. Concernant l'important effort des astronomes américains pour l'utilisation de la photographie stellaire, voir le long article de l'observateur F.L.O. Wadsworth, qui déclare : « Les méthodes photographiques possèdent deux avantages généraux », « la précision et la sensibilité au détail, associées à une libération à l'égard de "l'erreur personnelle" dans les résultats obtenus » (F.L.O. Wadsworth, « On the photography of planetary surfaces, with an introductory note on the application of photography to astronomical research », *The Observatory*, 20, 1897, p. 331-341, 365-370 et 404-410, ici p. 335).

83. Arthur Downing, « On the probable errors of transits of the first and second limits of the Sun observed by chronographic method », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1878, n° 38, p. 102, et Id., *The Observatory*, 1897, n° 20, p. 189.

84. W.V. Ball, *Reminiscences and Letters of Sir Robert Ball*, Londres, Cassell, 1915.

85. Arthur Hinks, « Preliminary notes on a personal equation depending on magnitude », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 57, 1897, p. 473-483.

86. Alexander Roberts, « Investigation concerning the position error affecting eye estimates of stellar magnitude », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 57, 1897, p. 483-492.

87. Friedriche W.A. Argelander, « Über die Abhängigkeit der Deklinationen von der Grössen der Sterne », *Astronomische Nachrichten*, 75, 1870 ; Dieter Herrmann et Jürgen Hamel, « Zur Frühentwicklung der Astrophysik. Das internationale Forscherkollektiv, 1865-1899 », *NTM Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften Technik und Medizin*, 12, 1975, p. 25-30.

88. Royal Astronomical Society, [Reports of Meetings], *The Observatory*, 20,1897, p. 186-188.

89. *Ibid.*, p. 187.

90. Hinks, « Preliminary notes », art. cit.

91. *Ibid.*, p. 477.

92. Royal Astronomical Society, [Reports of Meetings], art. cit., p. 189-191 et 226-228 ; Ellis, « Some reminiscences », art. cit., p. 314.

93. Truman Safford, « On the various forms of personal equation in meridian transits », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 57, 1897, p. 504-514 ; Id., « Letter to the editors, 30 august 1897 », *The Observatory*, 20, 1897, p. 386-387. Safford cite le travail de Mark Pattison, James Sully, Cattell et Lange. Pour ce travail aux États-Unis, voir J.A. Popplestone et M.W. McPherson, « The vitality of the Leipzig model of 1880-1910 in the United States », in Wolfgang G. Bringmann et Ryan D. Tweney (dir.), *Wundt Studies* : *A Centennial Collection*, Toronto, Hogrefe, 1980, p. 226-257.

94. Safford, « On the various forms of personal equation in meridian transits », art. cit., p. 504, 506-507 et 514.

95. Herbert H. Turner, [Editorials], *The Observatory*, 20, 1897, p. 331-332 et 387-388.

96. William Noble, « Personal equation and the amateur astronomer », *The Observatory*, 20, 1897, p. 353.

97. Turner, [Editorials], art. cit., p. 353 et 359-360. Voir les extraordinaires remarques satiriques sur les « visites du public dilettante aux observatoires », p. 361.

98. Safford, « Letter to the editors », art. cit., p. 387 ; W. Noble, « Personal equation and the amateur astronomer », *The Observatory*, 20, 1897, p. 393.

99. Boring, *A History of Experimental Psychology*, *op. cit.*, p. 148.

100. Peter J. Behrens, « The first dissertation in experimental psychology : Max Friedrich's study of apperception », in Bringmann et Tweney (dir.), *Wundt Studies*, *op. cit.*, p. 207-208 ; William R. Woodward, « Wundt's program for the new psychology », in William R. Woodward et Mitchell G. Ash (dir.), *The Problematic Science* : *Psychology in Nineteenth Century Thought*, New York, Prager, 1982, p. 167-197, en particulier p. 187.

101. Boring, *A History of Experimental Psychology*, *op. cit.*, p. 134 et 142.

102. Adolphe Quetelet, *Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou Essai de physique sociale*, Paris, Bachelier, 1835 (trad. angl. *A Treatise on Man and the Development of His Faculties*, Édimbourg, W. & R. Chambers, 1842, p. 9) ; Theodore M. Porter, « The mathematics of society : Variation and error in Quetelet's statistics », *British Journal for the History of Science*, 18, 1985, p. 51-69 ; Peter Buck, « From celestial mechanics to social physics », in Hans N. Jahnke et Michael Otte (dir.), *Epistemological and Social Problems of the Sciences in the Early Nineteenth Century*, Dordrecht, Reidel, 1981, p. 19-33 ; Stigler, *The History of Statistics*, *op. cit.*, chap. 5.

103. John Herschel, *Traité d'astronomie suivi d'une addition par Augustin Cournot*, Bruxelles, 1835, p. 562.

104. Theodore M. Porter, *The Rise of Statistical Thinking, 1820-1900*, Princeton, Princeton University Press, 1986, p. 95-96 ; Stigler, *The History of Statistics*, *op. cit.*, chap. 4.

105. Wilhelm Wundt, *Grundzüge der physiologischen Psychologie*, vol. III, Leipzig, Engelman, 1902, p. 359-388.

106. M. Norton Wise, « Social statistics in a *Gemeinschaft* : The idea of statistical causality as developed by Wilhelm Wundt and Karl Lamprecht », in Michael Heidelberger, Lorenz Krüger et Rosemarie Rheinwald (dir.), *Probability Since 1800* : *Interdisciplinary Studies of Scientific Development*, Workshop at the Centre for Interdisciplinary Research of the University of Bielefeld (16-20 septembre 1982), Bielefeld, Universität Bielefeld, 1983, p. 108 ; W. van Hoorn et T. Verhave, « Wundt's changing conceptions of a general and theoretical psychology », in Bringmann et Tweney (dir.), *Wundt Studies*, *op. cit.*, p. 108 ; Woodward, « Wundt's program for the new psychology », in Woodward et Ash (dir.), *The Problematic Science*, *op. cit.*

107. Wilhelm Wundt, *Erlebtes und Erkanntes*, Stuttgart, Kröner, 1920, p. 143-146 ; Gustav Ungerer, « Wundt as Psycholog und Politiker », *Psychologische Rundschau*, 31, 1980, p. 99-110 ; Timothy Lenoir, « Models and instruments in the development of electrophysiology, 1845-1912 », *Historical Studies in Physical and Biological Sciences*, 17, 1986, p. 1-54.

108. Edward P. Thompson, « Time, work-discipline and industrial capitalism », *Past and Present*, 38, 1967, p. 56-97 (trad. fr. *Temps, discipline du travail et capitalisme industriel*, trad. de l'anglais par Isabelle Taudière, présenté par Alain Maillard, Paris, La Fabrique, 2004).

CHAPITRE 7
Une manufacture d'ohms.

1. Steven Shapin, *A Social History of Truth* : *Civility and Science in Seventeenth-Century England*, Chicago, University of Chicago Press, 1994 ; voir aussi *supra*, chap. 6 : « Quand les astronomes marquent leur temps ».

2. Bruno Latour, *Science in Action*, Milton Keynes, Open University Press, 1987, p. 251 (trad. fr. *La Science en action*, trad. de l'anglais par Michel Biezunski, texte révisé par l'auteur, Paris, La Découverte, 1989 ; 2e éd., Paris, Gallimard, 1995 ; nouv. éd., Paris, La Découverte, 2005) ; Thomas P. Hughes, *Networks of Power* : *Electrification in Western Society, 1880-1930*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1983 ; Joseph O'Connell, « Metrology : The creation of university by the circulation of particulars », *Social Studies of Science*, 23, 1995, p. 129-173.

3. Pour les notions sociales et quantitatives de valeur, voir Thomas S. Kuhn, « The function of measurement in modern physical science », *Isis*, 52, 1961, p. 161-190 ; M. Norton Wise, « Mediating machines », *Science in Context*, 2, 1988, p. 81-117.
4. Daniel Headrick, *The Tentacles of Progress*, Oxford, Oxford University Press, 1988, p. 97 ; Crosbie Smith et M. Norton Wise, *Energy and Empire* : *A Biographical Study of Lord Kelvin*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, p. 128-135 et 684-698 ; Graeme Gooday, « Precision measurement and the genesis of physics teaching laboratories in Victorian Britain », *British Journal for the History of Science*, 23, 1989, p. 25-52 ; Bruce Hunt, « The ohm is where the art is : British telegraph engineers and the development of electrical standards », *Osiris*, 9, 1993, p. 48-63.
5. R. Kalley Miller, « The proposed chair of natural philosophy », *Cambridge University Reporter*, 23 novembre 1870, p. 118-119.
6. Cambridge University Library, MS Add 7655/II/240, lettre de Maxwell à Jenkin, 17 mars 1874 ; Cambridge University Library, MS Add 7655/II/144 : lettres des frères Elliot à Maxwell, 31 octobre 1877 ; lettre de Maxwell à Fleming, 14 janvier 1875, in John T. MacGregor-Morris, *The Inventor of the Valve* : *A Biography of Sir Ambrose Fleming*, Londres, 1954, p. 22.
7. *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, éd. par William D. Niven, 2 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1890, vol. II, p. 244 ; Lord Rayleigh, « Address to the mathematical and physical science section », *British Association Report*, 1882, p. 437-444 et 439. Voir Romualdas Sviedrys, « The rise of physical science at Victorian Cambridge », *Historical Studies in Physical Science*, 2, 1970, p. 127-145, en particulier p. 130.
8. James Walvin, *Victorian Values*, Londres, Deutsch, 1988, p. 139. Voir Thompson, « Time, work-discipline and industrial capitalism », art. cit. (trad. fr. *Temps, discipline du travail et capitalisme industriel*, trad. de l'anglais par Isabelle Taudière, présenté par Alain Maillard, Paris, La Fabrique, 2004).
9. Edwin Chadwick, *Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population of Great Britain*, éd. par M.W. Flinn, Édimbourg, Edinburgh University Press, 1965, p. 425 ; Charles Babbage, « On tables of constants of nature and art », *Smithsonian Institution Annual Report*, 1856, p. 289-302. Pour les « constantes », voir Ian Hacking, *The Taming of Chance*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990, p. 57.
10. William Thomson, « On the theory of the electric telegraph », *Proceedings of the Royal Society*, 7, 1855, p. 82-99. Pour la télégraphie et sa théorie, Bruce Hunt, « Michael Faraday, cable telegraphy and the rise of field theory », *History of Technology*, 13, 1991, p. 1-19.
11. William Thomson, « Presidential address », *British Association Report*, 1871, in Id., *Popular Lectures and Addresses*, t. II : *Geology and General Physics*, Londres, Macmillan, 1894, p. 162.

12. Joseph D. Everett, *Illustrations of the Centimetre-Gramme-Second (CGS) System of Units*, Londres, Macmillan, 1891, p. 18 ; Smith et Wise, *Energy and Empire*, *op. cit.*, p. 684-686.

13. Werner Siemens et William Siemens, « Outline of the principles and practices involved in dealing with the electrical conditions of submarine electric telegraphs », *British Association Report*, 1860, p. 32-34 ; Latimer Clark et Charles Bright, « On the formation of standards of electrical quantity and resistance », *British Association Report*, 1861, p. 37-38. Voir aussi Werner Siemens, *Inventor and Entrepreneur* : *Recollections*, Londres, Lund Humphries, 1966 (2e éd.), p. 166-167.

14. James Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 2 vol., Oxford, Clarendon Press, 1891 (3e éd.), vol. I, p. VII.

15. James Clerk Maxwell et Fleeming Jenkin, « On the elementary relations between electrical measurements », *British Association Report*, 1863, p. 130-163, en particulier p. 130-131. Concernant King's College, voir Cyril Domb, « James Clerk Maxwell in London, 1860-1865 », *Notes and Records of the Royal Society*, 35, 1980, p. 67-103, en particulier p. 86-90.

16. Fleeming Jenkin, *Report to the Royal Society on Units of Electrical Resistance, and the Cantor Lectures Bound with Reports of the Committee on Electrical Standards*, Londres, 1873, p. 193-194 ; Siemens protesta dans ses « Suggestions for the adoption of a common unit in a measurement of electrical resistance », *British Association Report*, 1862, p. 152-155, citation p. 154 ; le besoin d'une permanence est affirmé dans *British Association Report*, 1862, p. 126.

17. Pour le travail d'équipe, voir Ian Hopley, « Maxwell's work on electrical resistance. I : The determination of the absolute unit of resistance », *Annals of Science*, 13, 1957, p. 265-272, en particulier p. 266-268 ; le gouverneur est discuté dans *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 418-419.

18. *British Association Report*, 1863, p. 118-122 ; à comparer avec Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, 2 vol., Londres, Macmillan, 1910, vol. I, p. 112.

19. James Clerk Maxwell et Fleeming Jenkin, « Descriptions of a further experimental measurement of electrical resistance », *British Association Report*, 1864, p. 350-351. Le comité discute des étalons : *ibid.*, p. 346-347. Pour le prix de Jenkin, voir la lettre de Maxwell à Tait, 7 mars 1865, in *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*, éd. par P.M. Harman, 3 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1990-2002, vol. II, p. 214.

20. Werner Siemens, « On the question of the unit of electrical resistance », *Philosophical Magazine*, 31, 1866, p. 328.

21. Robert Louis Stevenson, « Memoir », in Fleeming Jenkin, *Papers, Literary, Scientific, etc.*, éd. par S. Colvin et J.A. Ewing, 2 vol., Londres, Longmans, Green & Co., 1887, vol. I, p. CLV-CLVI ; Smith et Wise, *Energy and Empire*, *op. cit.*, p. 698-

701 ; Colin A. Hempstead, « An appraisal of Fleeming Jenkin (1833-1885), electrical engineer », *History of Technology*, 13, 1991, p. 119-144, en particulier p. 131-132.

22. Jenkin, *Report to the Royal Society on Units of Electrical Resistance*, *op. cit.*, p. 247 ; Cambridge University Library, MS Add 7655/V/i/12, *Report of Electrical Standards Committee*, Nottingham, 1866.
23. Headrick, *The Tentacles of Progress*, *op. cit.*, p. 101 et 104-109 ; Smith et Wise, *Energy and Empire*, *op. cit.*, p. 704.
24. Jenkin, *Report to the Royal Society on Units of Electrical Resistance*, *op. cit.*, p. 192 ; Hunt, « Michael Faraday, cable telegraphy », art. cit., p. 8-14.
25. Maxwell sur Hockin in *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 127 ; lettre de Hockin à Maxwell du 27 juillet 1868, in *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Harman), *op. cit.*, vol. II, p. 410 n. 6.
26. Maxwell décrit la méthode dans *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 130-132 et 135, et mentionne le temps demandé p. 127 ; voir Ian Hopley, « Maxwell's determination of the number of electrostratic units in one electromagnetic unit of electricity », *Annals of Science*, 15, 1959, p. 91-108, en particulier p. 91-93.
27. *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 126. À comparer avec Simon Schaffer, « Accurate measurement is an English science », in M. Norton Wise (dir.), *The Values of Precision*, Princeton, Princeton University Press, 1995, p. 135-172.
28. Lettre de Hockin à Maxwell, 15 mai 1868, in Hopley, « Maxwell's determination », art. cit., p. 97.
29. *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 135-136. Il en fait la remarque sur les « attelages et les difficultés » dans la lettre de Maxwell à Tyndall, 23 juillet 1868, in *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Harman), *op. cit.*, vol. II, p. 409.
30. *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 322.
31. *Ibid.*, p. 483 (pour les « les articles manufacturés ») et p. 377 (pour les « caractères ineffaçables »). Voir Paul Theerman, « James Clerk Maxwell et la religion », *American Journal of Physics*, 54, 1986, p. 312-317.
32. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, *op. cit.*, vol. II, p. 268-269 et 270.
33. Maxwell à Clark, 16 juillet 1872 ; lettre de Maxwell à Thomson, 10 août 1872 ; lettre de Thomson à Tyndall, 23 juillet 1868, citées dans *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Harman), *op. cit.*, vol. II, p. 268-269 et 370.
34. Robert John Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, nouv. éd. augmentée, Madison, University of Wisconsin Press, 1968, p. 49-50 et 406-407 ; *Cambridge University Report*, 16 novembre 1870, p. 93-97.

35. Lettre de Maxwell à Rayleigh, 15 mars 1871, cité dans Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 49-50.

36. Lettre de Maxwell à Thomson, 21 mars 1871, dans *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Harman), *op. cit.*, vol. II, p. 627 ; lettre de Maxwell à Monro, 15 mars 1871, citée par Lewis Campbell et William Garnett, *Life of James Clerk Maxwell*, Londres, Macmillan, 1884, et dans *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Harman), *op. cit.*, vol. II, p. 619. Pour le financement, voir Cambridge University Library, MS CUR 39.33 53 (3) et MS 7655/II/138.

37. Lettre de Maxwell à Jenkin, 17 mars 1874, et lettre de Hockin à Maxwell, 14 mai 1874, Cambridge University Library, MS Add 7655/II/240 et 78. Pour des exemples des étalons de résistance produits par les frères Elliott dans le laboratoire Cavendish dans les années 1870, voir Kenneth Lyall, *Catalog 8* : *Electrical and Magnetic Instruments*, Cambridge, Whipple Museum Publications, 1991, n° 278-282 (Wh : 1348, 1541-1545).

38. Sur Pullin et Garnett, voir Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 103-104 et 412 ; lettre de Pullin à Maxwell, 5 juillet 1877, Cambridge University Library, MS Add 7655/II/135.

39. William Garnett, « Maxwell's laboratory », in *James Clerk Maxwell* : *A Commemoration Volume, 1831-1931* : *Essays*, Cambridge, Cambridge University Press, 1931, p. 109-115, en particulier p. 115 ; voir les commentaires d'Arthur Schuster et de Richard Glazebrook dans *History of the Cavendish Laboratory, 1871-1910*, Londres, Longmans & Co., 1910, p. 26, 36 et 45. Voir aussi Arthur Schuster, *The Progress of Physics During 33 Years*, Cambridge, Cambridge University Press, 1911, p. 30-31.

40. Todhunter écrivit contre la « fabrication » des expérimentateurs dans *The Conflict of Studies*, Londres, Macmillan, 1873, p. 16-19. À comparer avec l'attaque d'Henry Sidgwick contre le professorat dans « Academic teachers », *Cambridge University Reporter*, 22 février-8 mars 1871, p. 204-205, 221 et 235-236.

41. Les comptes rendus de Maxwell de juillet 1873 et juillet 1878 sont conservés à la Cambridge University Library, MS CUR 55.2.

42. Sur Garnett, voir *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 35 ; Thomas J.N. Hilken, *Engineering at Cambridge University, 1873-1965*, Cambridge, Cambridge University Press, 1967, p. 63-74 ; Michael J. Cattermole et Arthur F. Wolfe, *Horace Darwin's Shop* : *A History of the Cambridge Scientific Instrument Company*, Bristol, Hilger, 1987.

43. Pour la conception d'instrument, voir Hopley, « Maxwell's determination », art. cit., p. 99-101, et Id., « Maxwell's work on electrical resistance. II : Proposals for the redetermination of the BA unit of 1863 », *Annals of Science*, 14, 1958, p. 197-210, en particulier p. 201-202. Voir aussi la lettre de Maxwell à Chrystal du 7 août 1876, Cambridge University Library, MS Add 8375, f° 4 ; Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, *op. cit.*, vol. II, p. 396. Les galvanomètres

balistiques sont décrits dans Lyall, *Electric and Magnetic Instruments*, *op. cit.*, n° 14 et 17 (Wh : 1318, 1334).

44. Pour Horn, voir Hopley, « Maxwell's work on electrical resistance (II) », art. cit., p. 208 ; voir aussi lettre de Hockin à Maxwell, 14 janvier 1878, Cambridge University Library, MS Add 7655/II/150 ; Ambrose Fleming, « Some memories », in *James Clerk Maxwell* : *A Commemoration Volume*, *op. cit.*, p. 116-124 et 119.

45. Pour Chrystal et Fulcher, voir Hopley, « Maxwell's work on electrical resistance (II) », art. cit., p. 209 ; lettre de Chrystal à Maxwell, 9 juillet 1878, et lettre de Maxwell à Chrystal du 9 juillet 1878, Cambridge University Library, MS Add 7655/II/159 et MS Add 8375, f° 16. Voir aussi le compte rendu de Maxwell de mars 1878, Cambridge University Library, MS CUR 55.2 242a p. 11.

46. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, *op. cit.*, vol. I, p. 326-327 ; les notes du programme sont dans *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (éd. Niven), *op. cit.*, vol. II, p. 505-527, discuté dans Peter Galison, *How Experiments End*, Chicago, University of Chicago Press, 1987, p. 23-27.

47. *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 34-35.

48. Richard T. Glazebrook, « Early days at the Cavendish laboratory », in *James Clerk Maxwell* : *A Commemoration Volume*, *op. cit.*, p. 135-137.

49. Lettre de Whipple à Maxwell, 6 mai 1874, et lettre de Maxwell à Jenkin, 22 juillet et 19 novembre 1874, Cambridge University Library, MS Add 7655/II/77, p. 241-242 ; Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, *op. cit.*, vol. II, p. 382-391.

50. *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 19.

51. Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 75 et 412 ; *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 41-42. La pétition de Rayleigh pour le financement d'un appareillage est dans Cambridge University Library, MS Add 7655/IIIc/1 ; lettre de Schuster à Rayleigh, 8 janvier 1880, Imperial College, MS Rayleigh Letters. Voir Simon Schaffer, « Rayleigh and the establishment of electrical standards », *European Journal of Physics*, 15, 1994, p. 277-285.

52. *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 44-46 ; Edward C. Pickering, *Elements of Physical Manipulation*, 2 vol., Londres, Macmillan, 1876-1878, vol. I, p. VI-VII ; lettre de Rayleigh à Chrystal, 22 août 1880, Cambridge University Library, MS Add 8375, f° 28 ; lettre de Chrystal à Rayleigh, 3 septembre 1880, Imperial College, MS Rayleigh Letters.

53. *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 254 ; Richard Glazebrook et W. Napier Shaw, *Practical Physics*, Londres, Longmans & Green, 1893 (4e éd.), p. IX et XII-XIII.

54. Lettre de Maxwell à Chrystal, 17 juillet 1878, Cambridge University Library, MS Add 8375, f° 18, sur la distribution des unités à Zurich ; voir aussi la lettre de Hockin à Maxwell, 14 janvier 1878, et la lettre de H. Weber à Maxwell,

19 mai 1878, Cambridge University Library, MS Add 7655/II/150, 154. Voir la lettre de Rowland à Maxwell, mars 1876, dans Nathan Reingold, *Science in Nineteenth-Century America : A Documentary History*, Chicago, University of Chicago Press, 1964, p. 269 pour le voyage à Göttingen ; et la lettre de Rowland à Maxwell [1877], Cambridge University Library, MS Add 7655/II/105, pour la comparaison de la résistance des bobines.

55. Glazebrook et Shaw, *Practical Physics*, *op. cit.*, p. VII et 527 ; Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, *op. cit.*, vol. I, p. 465. Pour le *Leitfaden* de Kohlrausch et les laboratoires de physique allemands, voir David Cahan, « The institutional revolution in German physics, 1865-1914 », *Historical Studies in Physical Sciences*, 15, 1985, p. 1-65, en particulier p. 48-50, et Kathryn Olesko, *Physics as a Calling*, Ithaca, Cornell University Press, 1991, p. 408-412.
56. Pour Gordon, voir Glazebrook et Shaw, *Practical Physics*, *op. cit.*, p. X ; *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 46 ; Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 104.
57. *Ibid.*, p. 427.
58. Lord Rayleigh, *Scientific Papers*, 6 vol., Cambridge, Cambridge University Press, 1899-1920, vol. II, p. 5-12 ; voir les notes de laboratoire de Rayleigh à Imperial College, MS B/Rayleigh/3 p. 268, 21 avril 1882.
59. Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 38-40 et 42 ; Lyall, *Catalog of Electrical and Magnetic Instruments*, *op. cit.*, n° 278-282.
60. Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 3, 47-50 et 78-79 ; notes de laboratoire de Rayleigh à Imperial College, MS B/Rayleigh/3 p. 242-245, 18 mars 1881.
61. Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 4-7 ; Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 115.
62. *British Association Report*, 1881, p. 424-425 ; G. Carey Foster, « Account of preliminary experiments in the determination of electrical resistance in absolute measure », *British Association Report*, 1881, p. 426-431.
63. Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 116 ; Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 113 et 155-156.
64. Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 125 ; Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 47.
65. Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 181 ; lettre de Rayleigh à Eleanor Sidgwick, 14-23 septembre 1881, Imperial College, MS Rayleigh Letters.
66. Lettre de Thomson à Rayleigh, 2 mai 1883, Rayleigh MS, Terling.
67. Pour l'exposition de 1881, voir « The International Exhibition and Congress of electricity at Paris », *Nature*, 24, 1881, p. 512 ; « Congrès international des électriciens », *Revue scientifique*, 3e série, 1, partie 2, 1881, p. 382-384 et 407-415. Pour la publicité au congrès, voir Robert Fox, « Edison et la presse française à

l'Exposition internationale d'électricité de 1881 », in Fabienne Cardot (dir.), *1880-1980 : Un siècle d'électricité dans le monde*, actes du colloque (Paris, 15-17 avril 1986), Paris, PUF, 1987, p. 223-235.

68. Strutt Rayleigh, *Life of John William Strutt, Third Baron Rayleigh*, *op. cit.*, p. 124-125 ; *History of the Cavendish Laboratory*, *op. cit.*, p. 64-66 ; Rayleigh, *Scientific Papers*, *op. cit.*, vol. II, p. 78 ; *British Association Report*, 1889, p. 42-43 ; lettre de Carey Foster à Rayleigh, 15 novembre 1882, et lettre de Henry Rowland à Rayleigh, 23 juin 1883, Imperial College, MS Rayleigh Letters.
69. Lettre de William Siemens à Rayleigh, 3 mars et 21 mai 1882, Imperial College, MS Rayleigh Letters ; Siemens, *Inventor and Entrepreneur*, *op. cit.*, p. 267 ; David Cahan, « Werner Siemens and the origins of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 12, 1982, p. 253-283.
70. *British Association Report*, 1881, p. 154-160 ; Peter Alter, *The Reluctant Patron : Science and the State in Britain, 1850-1920*, trad. de l'allemand par Angela Davis, Oxford, Berg, 1987, p. 139-140.
71. William E. Ayrton, *Practical Electricity*, Londres, Cassel, 1894 (6e éd.), p. IV-V ; Andrew Gray, *Absolute Measurements in Electricity and Magnetism*, Londres, Macmillan, 1889 (2e éd.), p. 1-2. Voir lettre d'Ayrton à Rayleigh, 10 mars 1884, Imperial College, MS Rayleigh Letters ; Graeme Gooday, « Teaching telegraphy and electrotechnics in the physics laboratory : William Ayrton and the creation of an academic space for electrical engineering in Britain, 1873-1884 », *History of Technology*, 13, 1991, p. 73-111.
72. Thomson, *Popular Lectures and Addresses*, vol. II, *op. cit.*, p. 106-107, 114 et 120. Lettre de Thomson à Rayleigh, 11 avril 1883, in Thompson, *Life of William Thomson*, *op. cit.*, vol. II, p. 792.

CHAPITRE 8
Expérimentations publiques

1. Voltaire, « Miracles », in *Dictionnaire philosophique*, Paris, Garnier, 1878, vol. XX, section I, p. 81 (en anglais : *Philosophical Dictionary*, 2 vol., Londres, Truelove, 1855, vol. II, p. 222, *s.v.* « Miracle », 1re éd. 1764).
2. Derek Burke, « The recent excitement over genetically modified foods », National Institute for Medical Research, < www.nimr.mrc.ac.uk/MillHillEssays/1997/food.htm > (relevé le 22 octobre 2004).
3. Steven Shapin, « Trust, honesty and the authority of science », in Ruth E. Bulkger, Elizabeth Meyer Bobby et Harvey V. Feinberg (dir.), *Society's Choices : Social and*

Ethical Decision-Making in Biomedicine, Washington, National Academy Press, 1995, p. 388-408 ; Id., « The way we trust now : The authority of science and the character of the scientists », in Rosemary Bechler (dir.), *Trust Me, I'm a Scientist*, British Council, Londres, 2004, p. 42-62.

4. Adam Smith, « Early draft of part of *The Wealth of Nations* », in Id., *Lectures on Jurisprudence*, éd. par R.L. Meek, D.D. Raphael et P.G. Stein, Oxford, Clarendon Press, 1978, p. 574.
5. Nancy D. Campbell, « Credible performances : The performativity of science studies », *Social Studies of Science*, 34, 2004, p. 433-442.
6. Ian Hacking, *The Emergence of Probability*, Cambridge, Cambridge University Press, 1975, p. 35-37.
7. Martin Kusch, « Testimony in communitarian epistemology », *Studies in History and Philosophy of Science*, 33, 2002, p. 335-354 ; Steven Shapin, *A Social History of Truth* : *Civility and Science in Seventeenth-Century England*, Chicago, University of Chicago Press, 1994, p. 403-404.
8. Yann Thomas, « *Res*, chose et patrimoine », *Archives de philosophie du droit*, 25, 1980, p. 413-426, en particulier p. 415.
9. James Paradis, « Montaigne, Boyle and the essay of experience », in George Levine (dir.), *One Culture* : *Essays on Science and Literature*, Madison, University of Wisconsin Press, 1987, p. 59-91.
10. Mario Biagioli, *Galileo Courtier* : *The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago, Chicago University Press, 1993, p. 301.
11. Otto von Guericke, *The New (So-Called) Magdeburg Experiments*, trad. du latin à l'anglais par Margaret Glover Foley Ames, Dordrecht, Kluwer Academic, 1994, p. xx et 168-172 ; John L. Heilbron, « Domesticating science in the eighteenth century », in William R. Shea (dir.), *Science and the Visual Image in the Enlightenment*, Canton, Science History Publications, 2000, p. 1-24, en particulier p. 7-9.
12. Serafina Cuomo, « Shooting by the book : Notes on Niccolo Tartaglia's *Nova scientia* », *History of Science*, 35, 1997, p. 155-188 ; William Ashworth, « The Habsburg Circle », in Bruce T. Moran (dir.), *Patronage and Institutions* : *Science, Technology and Medicine at the European Court, 1500-1750*, Rochester, Boydell, 1991, p. 137-168.
13. Jean-Pierre Séris, *Machine et communication. Du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, Vrin, 1987, p. 51 ; Roger Hahn, *The Anatomy of a Scientific Institution* : *The Paris Academy of Sciences, 1666-1803*, Berkeley, California University Press, 1971, p. 70 (trad. fr. *L'Anatomie d'une institution scientifique* : *l'Académie des sciences de Paris, 1666-1803*, Bruxelles et Paris / Yverdon / Amsterdam, Éd. des Archives contemporaines / Gordon & Breach Science Publishers / OPA, 1993).

14. Charles Webster, « Paracelsus : Medicine as popular protest », in Ole Grell et Andrew Cunningham (dir.), *Medicine and the Reformation*, New York, Routledge, 1993, p. 57-77 ; Andrew Weeks, *Paracelsus* : *Speculative Theory and the Crisis of the Early Reformation*, Albany, State University of New York Press, 1997, p. 103-128 ; Jay Tribby, « Club Medici : Natural experiment and the imagineering of Tuscany », *Configurations*, 2, 1994, p. 215-235, en particulier p. 233.
15. Albert van Helden, « The Accademia del Cimento and Saturn's ring », *Physis*, 15, 1973, p. 237-259, en particulier p. 245.
16. Marc Bloch, *Les Rois thaumaturges*, Paris, Gallimard, 1983 (éd. révisée ; éd. originale 1924), p. 321-322 et 376-379 ; Raymond Crawfurd, *The King's Evil*, Oxford, Clarendon Press, 1911, p. 102-118.
17. Richard Sennett, *The Fall of Public Man*, Faber, Londres, 1986 (1re éd. 1976), p. 56 (trad. fr. *Les Tyrannies de l'intimité*, trad. de l'américain par Antoine Berman et Rebecca Folkman, Paris, Seuil, 1979).
18. Lettre de's Gravesande à Newton, 13 / 24 juin 1718, in A. Rupert Hall, « Further Newton correspondence », *Notes and Records of the Royal Society*, 37, 1982, p. 7-34, en particulier p. 26 ; Thomas L. Hankins et Robert J. Silverman, *Instruments and the Imagination*, Princeton, Princeton University Press, 1995, p. 37-43.
19. Bruno Latour, « The force and reason of experiment », in Homer Le Grand (dir.), *Experimental Inquiries* : *Historical, Philosophical and Social Studies of Experimentation in Science*, Dordrecht, Kluwer Academic, 1990, p. 49-80.
20. Peter W. Hammond et Harold Egan, *Weighed in the Balance* : *A History of the Laboratory of the Government Chemist*, Londres, HMSO, 1992, p. 2-32 ; William Ashworth, *Customs and Excise* : *Trade, Production and Consumption in England, 1640-1845*, Oxford, Oxford University Press, 2003, 5e partie ; John Brewer, *The Sinews of Power* : *War, Money and the English State, 1688-1783*, New York, Knopf, 1989, p. 221-249.
21. Kurt H. Wolff, *The Sociology of Georg Simmel*, New York, Free Press, 1950, p. 330-332 et 345.
22. Len Giovannitti et Fred Freed, *The Decision to Drop the Bomb*, New York, Coward-McCann, 1965, chap. 5-6 (trad. fr. *Histoire secrète d'Hiroshima*, trad. de l'anglais par Pierre Francart, Paris, Plon, 1966) ; Dennis D. Wainstock, *The Decision to Drop the Atomic Bomb*, Westport, Praeger, 1996, chap. 2 ; Gar Alperovitz, *The Decision to Use the Atomic Bomb and the Architecture of an American Myth*, New York, Harper Collins, 1995, chap. 12-13.
23. Vera Zolberg, « Contested remembrance : The Hiroshima exhibit controversy », *Theory and Society*, 27, 1998, p. 565-590 ; Martin Harwit, *An Exhibit Denied* : *Lobbying the Enola Gay*, New York, Copernicus, 1996 ; Tom Engelhardt et Edward T. Lilienthal (dir.), *History Wars* : *The Enola Gay and Other Battles for the American Past*, New York, Owl Books, 1996.

Index

Adams, George 1

Adams, Grylls 1

Addison, Joseph 1

Aepinus, Franz 1, 2

Agassiz, Louis 1

Airy, George B. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17

Alembert, Jean Le Rond d' 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Arago 1, 2, 3

Arden, John 1

Argelander 1, 2

Aston, Francis 1, 2

Ayrton, William 1

Babbage, Charles 1, 2, 3

Babington, Humphrey 1, 2

Bacon, Francis, Lord 1, 2, 3

Bailly, Jean Sylvain 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Baily, Francis 1

Balfour, Arthur 1, 2

Ball, Robert 1, 2, 3

Banks, Joseph 1, 2

Barletti, Carlo 1

Bayly, Christopher A. 1

Beccaria, Cesare 1
  Giambattista 1, 2

Becker 1

Beddoes, Thomas 1, 2

Bellville, John Henry 1, 2

Bentham, Jeremy 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Berdoe, Marmaduke 1

Bergasse, Nicolas 1

Berkeley 1

Berman, Morris 1

Bernoulli, Daniel 1, 2, 3

Bertholon Pierre 1, 2

Bessel, Friederich 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Bevis, John 1, 2, 3, 4, 5

Bignon 1, 2, 3

Bird 1

Black, Joseph 1

Blackstone, William 1

Blake, William 1, 2, 3

Bloch, Marc 1

Boerhaave, Herman 1, 2

Bond, William 1, 2

Boring, Edwin 1, 2, 3, 4, 5

Bose, G.M. 1

Boss, Valentin 1, 2

Bossut 1

Bouguer 1, 2, 3, 4, 5

Boulton, Matthew 1, 2

Boyle, Robert 1, 2, 3, 4

Bradley 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Brahe, Tycho 1, 2, 3

Brattle, Thomas 1

Breteuil 1, 2

Brewer, John 1

Brewster, David 1

Bright, Charles 1

Brisson 1, 2

Brockliss 1

Brothers, Richard 1

Brown, Theodore 1

Browne, Thomas 1

Brownrigg, William 1

Buchwald 1, 2

Buffon 1, 2, 3, 4

Burke, Derek 1, 2
  Edmund 1
  Peter 1

Bussy, Martin de 1

Byron 1

Cadet de Vaux 1

Cagliostro 1

Cannon 1

Canton, John 1

Cantor, Geoffrey 1

Carbery 1

Carra, Jean-Louis 1

Casaubon, Meric 1, 2

Cassini, César-François 1, 2, 3, 4
  famille 1, 2
  Jacques 1, 2, 3, 4, 5
  Jean-Dominique 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Cattell 1

Cavallo, Tiberius 1, 2, 3, 4

Cavendish, Henry 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Cellio, Marco Antonio 1, 2

Celsius, Anders 1

Chadwick, Edwin 1, 2, 3

Chambers, Ephraïm 1

Chandos 1

Chaptal 1

Chardeloup 1

Charles 1

Chaulnes, duc de 1

Chéseaux, Jean-Philippe de 1, 2, 3, 4, 5

Chiarugi, Vincenzo 1

Childrey, Joseph 1

Christine de Suède 1

Chrystal, George 1, 2, 3, 4

Churchill, Awnsham 1

Churchill, John 1

Ciampini 1

Clairaut, Alexis Claude 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Clark, Latimer 1

Clarke, Samuel 1, 2

Clausewitz 1

Clausius 1

Clayton, Robert 1

Clerk, John 1

Clerke, Agnes 1

Cohen, I. Bernard 1

Colbert 1

Colden, Cadwallader 1

Colepresse, Samuel 1, 2, 3, 4

Collins, Harry 1

Collinson, Peter 1

Condillac 1

Condorcet 1, 2

Conduitt, John 1, 2

Conrad, Joseph 1, 2

Conti, Antonio 1

Cook, Harold 1

Cooter, Roger 1, 2

Corbin, Alain 1

Coste, Pierre 1

Cotes, Roger 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Coulomb 1

Couplet, Claude-Antoine 1

Cournot, Augustin 1

Curtz, Albert 1

Dailey, Jack 1

Dampier, William 1

Darwin, Erasmus 1, 2, 3
Horace 1, 2

Davenport, Francis 1, 2, 3

Day, Thomas 1

Defoe, Daniel 1

Delambre, Jean-Baptiste Joseph 1, 2, 3

Delisle, Joseph-Nicolas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36

Delor 1

Denning 1

Desaguliers, Jean Théophile 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19

Des Maizeaux, Pierre 1, 2

Devonshire, duc du 1

Diderot 1, 2

Ditton, Humphry 1

Donders 1, 2, 3

Dooley, Brendan 1

Doppelmayr, Johann 1

Downing, Arthur 1, 2, 3, 4

Du Bois-Reymond 1

Dufay, Charles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26

Dumas 1

Dunkin, Edwin 1

Dunthorne, Richard 1

Edison, Thomas Alva 1

Ellicott, John 1

Elliot, Frères 1, 2, 3, 4, 5, 6

Ellis, William 1, 2

‘Espinasse, Margaret 1

Euler, Johann 1
Leonhard 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25

Fabbroni, Giovanni 1, 2

Faraday, Michael 1

Faure, Camille 1

Ferdinand II de Médicis 1

Feuillée, Louis 1, 2, 3

Fielding, Henry 1

Flamsteed, John 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Flaxman, John 1

Fleming, Ambrose 1

Fogel, Michèle 1

Folkes 1

Fontana, Felice 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Fontaney, Jean 1

Fontenelle 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Foster, Carey 1, 2

François II d'Habsbourg 1

Frank, Johann Peter 1

Frank, Robert 1

Franklin, Benjamin 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Frederick, Prince 1

Freke, John 1, 2

Frézier, Amédée-François 1, 2

Friedrich, Max 1

Fulcher, Robert 1, 2

Fuseli, Henry 1

Galilée 1, 2, 3

Galles, Prince de 1

Gallet, Jean-Charles 1, 2, 3, 4, 5

Gamaches 1

Garnham, Robert 1

Gassiot, J.P. 1

Gaub, Jerome 1

Gauss 1, 2, 3, 4

Gay-Lussac 1

Geoffroy 1

Gillispie, Charles 1

Giorgi, Francesco 1

Glazebrook, Richard 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Godfrey, John 1, 2, 3

Goldsmith, Oliver 1

Golinski, Jan 1

Gordon, George 1, 2

Goubert, Jean-Pierre 1

Graham, George 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
James 1

Grant, Robert 1

Gravesande, Willem Jacob 's 1, 2

Gray, Stephen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Greenbaum 1

Greenberg, John 1, 2

Grégoire de Saint-Vincent 1

Gregory, David 1, 2, 3, 4
John 1

Grew, Nehemiah 1

Guericke, Otto von 1, 2, 3

Guerlac 1, 2, 3

Guillaume III d'Orange 1

Guillotin 1

Guisnée 1

Gulliver 1, 2, 3

Guyton de Morveau 1

Hacking, Ian 1

Hadley 1, 2

Hales, Stephen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Hall 1

Haller 1

Halley, Edmond 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Hamilton, William 1, 2

Hansen, P.A. 1

Harding 1

Hardy, Thomas 1, 2

Harmer, Thomas 1

Harrington, Robert 1

Harris, Steven 1

Hartley, David 1, 2

Hauksbee, Francis 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Heberden, William 1, 2

Hecquet, Philippe 1

Heilbron, John 1, 2, 3, 4, 5

Heinsius 1, 2, 3, 4, 5

Hellot, Jean 1

Helmholtz 1

Hermann 1

Herschel, John 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Hessen 1, 2

Hevelius 1, 2, 3, 4, 5

Hicks, W.M. 1

Hill, Abraham 1, 2

Hindmarsh, Robert 1

Hinks, Arthur 1, 2, 3

Hjorter, Olof 1

Hockin, Charles 1, 2, 3, 4, 5

Hoffmann, E.T.A. 1

Home, Roderick 1

Hooke, Robert 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Horrebow 1, 2

Humboldt 1

Hume, David 1

Hunt, Henry 1

Huntingdon, comtes de 1

Hutchinson, John 1

Hutton, James 1

Huygens, Christian 1, 2, 3, 4, 5, 6

Iliffe, Robert 1

Ingenhousz, Jan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13

Innys 1, 2, 3

Jaager, Johann de 1, 2

Jacques II Stuart 1

Jallabert 1

James, Philip 1, 2
Thomas 1

Jenkin, Fleeming 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Jenner, Edward 1

Johnson, Samuel 1

Jombert, Claude 1, 2

Jones, Henry 1

Jordanova, Ludmilla 1

Joseph II 1, 2, 3

Joule, James 1, 2, 3, 4

Jurin, James 1, 2

Jussieu, Antoine Laurent de 1

Justi 1

Kaempfer, Engelbert 1

Kant, Immanuel 1, 2, 3

Kästner 1

Katterfelto, Gustav 1

Keill, John 1, 2, 3

Kenner, Hugh 1

Kepler 1, 2

Kies, Johannes 1, 2, 3, 4, 5

Kinnebrook, David 1, 2, 3, 4, 5

Kirch 1, 2

Kircher, Athanasius 1, 2, 3

Klingenstierna 1

Knoefel, Peter 1

Knox, Robert 1

Kohlrausch, Friederich 1, 2

Königsberg 1

Krafft, Georg 1

Kuhn, Thomas 1

Külpe, Oswald 1

Lacaille, Nicolas-Louis de 1, 2, 3

Lacey, John 1

La Condamine 1

La Hire, Philippe de 1, 2, 3, 4, 5

Lalande, Jérôme 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19

Lambert, Johann 1

Lancisi, Giovanni 1

Landriani, Marsilio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13

Lange, Ludwig 1

Laplace 1, 2

La Polinière 1

Latour, Bruno 1

Laval 1

Lavoisier, Antoine 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Lawrence, Christopher 1

Leblanc 1

Ledru, Nicolas 1, 2

Le Monnier, Pierre 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Lenoir 1

Léopold de Médicis 1

Lepaute, Mme 1, 2

Le Roy 1, 2

Lieutaud, Jacques 1

Linné, Carl von 1, 2

Lister, Martin 1

Locke, John 1, 2, 3, 4

Long, Roger 1

Lord Rosse 1, 2

Louville 1, 2, 3, 4, 5, 6

Lowell 1

Luc, Jean André de 1

Mably 1

Macbride, David 1

Macclesfield 1

Maclaurin, Colin 1, 2

MacLurg, James 1

Macquer, Pierre-Joseph 1

Magellan, Jean 1, 2, 3, 4, 5, 6

Maier, Michael 1

Malebranche 1

Manuel, Frank E. 1, 2

Maraldi 1, 2, 3

Marat 1, 2, 3

Marie Therese d'Autriche 1

Martin, Benjamin 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Marum, Martin van 1

Maskelyne, Nevil 1, 2, 3, 4, 5, 6

Mauduyt de La Varenne 1

Maunder, Walter 1, 2, 3, 4, 5, 6

Maupertuis 1, 2, 3, 4, 5, 6

Maurepas 1, 2

Maxwell, James Clerk 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Mayer, Tobias 1, 2

Mayow, John 1

Mazéas 1

McEvoy, John G. 1, 2

Meadows, Arthur 1

Mechain, Pierre François 1

Mercier, Louis 1

Mesmer 1, 2, 3, 4, 5, 6

Messier, Charles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Miles, Henry 1

Miller, Kalley 1, 2, 3

Milton, John 1, 2

Mirabeau 1

Mitchel, Ormsby 1, 2, 3, 4, 5

Moivre, Abraham de 1, 2

Monge 1

Montaigne, Michel de 1

Montanari, Geminiano 1, 2, 3

Montmort, Pierre Rémond de 1, 2

Moray, Robert 1

Morellet, André 1

Mortimer, Cromwell 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Morus, Iwan 1

Moscati, Pietro 1, 2, 3, 4, 5, 6

Muchembled, Robert 1

Musschenbroek, Pieter van 1, 2, 3, 4

Nairne 1

Neale, John 1

Newcomb, Simon 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Newton, Isaac 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Nicasius 1, 2, 3

Nichol, John Pringle 1, 2

Nicholson 1

Noble, William 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Nollet, abbé Jean Antoine 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16

Olbers, Wilhelm 1

Oldenburg, Henry 1, 2

Oppenheimer, Robert 1

Orléans, duc d’ 1

Orphée 1

Papin, Denis 1

Paracelse 1

Pasteur, Louis 1

Paulet, Jean-Jacques 1

Pemberton, Henry, 1, 2, 3, 4

Penrose, Francis 1

Percival, Thomas 1

Perronet, Edward 1

Petty, William 1

Phillips, Richard 1

Picard 1

Pierce, Benjamin 1

Pilâtre de Rozier, Jean-François 1, 2, 3, 4, 5

Pingré, Alexandre-Guy 1, 2, 3

Pivati 1

Plot, Robert 1

Polignac 1

Pomian, Krzysztof 1

Pond, John 1, 2

Pontio, Giuseppe 1

Pope, Alexander 1, 2

Pound, James 1, 2

Preece, W.H. 1

Priestley, Joseph 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Prince, Thomas 1, 2

Pringle, John 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Privat de Molières 1, 2

Psalmanazar, George 1, 2

Pullin 1

Pulteney, Richard 1

Pumfrey, Steven 1, 2

Pythagore 1

Quatremère de Quincy 1

Quesnay 1

Quetelet 1, 2, 3, 4

Rackstrow, Benjamin 1, 2, 3, 4

Ramazzini, Bernardino 1, 2

Ramsay, Andrew 1

Ramsden 1

Rast 1, 2, 3

Rayleigh 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13

Razumovsky 1

Réaumur 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Redi, Francesco 1, 2

Régis 1

Reid, Thomas 1, 2

Reynolds, Joshua 1

Richer, Jean 1, 2, 3

Richmann 1

Roberts, Alexander 1, 2
  Lissa 1, 2

Robinson, Bryan 1
Thomas Romney 1

Robinson Crusoé 1, 2

Robison, John 1

Rohault, Jacques 1

Romé de L'Isle, Jean-Baptiste Louis de 1

Rondet, Laurence 1

Rooke 1

Rouelle 1

Rowland, Henry 1, 2, 3

Ryland, John 1

Safford, Truman 1, 2, 3, 4, 5, 6

Safier, Neil 1

Salaville, Jean-Baptiste 1

Salisbury, Lord 1

Scheele 1, 2, 3, 4

Schiaparelli 1

Scholefield, James 1

Schumacher 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Schuster, Arthur 1, 2, 3

Schwartz, Hillel 1

Scott, Jonathan 1

Seller, John 1, 2

Senebier, Jean 1, 2

Senex 1

Sennett, Richard 1

Servan, Antoine 1, 2, 3

Shapin, Steven 1, 2, 3, 4, 5

Sharp, William 1

Shaw, William Napier 1, 2, 3, 4

Sheepshanks 1

Shelburne, Lord 1, 2, 3, 4, 5, 6

Short 1

Shortgrave, Richard 1

Sibley, Ebenezer 1

Sibum, Heinz Otto 1, 2, 3, 4

Sidgwick, Eleanor 1, 2, 3

Siemens 1, 2, 3, 4
  Frères 1, 2
  Werner 1, 2, 3, 4, 5, 6
  William 1

Sigaud de La Fond, Joseph Aignan 1, 2, 3, 4

Sigorgne 1

Simmel, Georg 1

Sloan, Phillip 1

Sloane, Hans 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Smeaton, John 1, 2

Smith, Adam 1, 2, 3

Smollett, Tobias 1

Sonnenfels 1

Southwood Smith, Thomas 1

Spallanzani 1

Stansel, Valentin 1, 2

Stevenson, Thomas 1, 2

Stewart, Larry 1

Stigler, Stephen 1

Stokes, George 1

Storer, Arthur 1

Struve, Friederich Wilhelm 1, 2, 3, 4

Struyk, Nicolas 1, 2

Stuart, James 1, 2

Stukeley, William 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Sturmy, Samuel 1, 2, 3

Sudnow, David 1

Sutton 1

Swan, Joseph 1

Swift, Jonathan 1, 2

Symes, Richard 1, 2, 3, 4, 5

Tait, Peter Guthrie 1

Targioni Tozzetti, Giovanni 1, 2

Taylor, Brook 1, 2

Teinturier 1

Thackray, Arnold 1

Thomson, James 1, 2
  J.J. 1, 2
  William 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16

Titchener 1

Tocqueville 1

Todhunter, Isaac 1, 2

Toland, John 1

Towneley 1

Trenchard, John 1

Tribby, Jay 1

Triewald, Marten 1

Trotter, Thomas 1

Turgot 1

Turner, Herbert 1, 2, 3, 4, 5, 6

Urbain VIII (pape) 1

Ure, Andrew 1

Varenius, Bernhard 1, 2, 3

Varignon 1, 2, 3

Vaughan, Benjamin 1

Verati 1

Vergennes, Charles 1

Verri, Alessandro 1
  Pietro 1, 2, 3, 4

Vicq d'Azyr, Félix 1, 2, 3

Villermé, Louis-René 1

Volta, Alessandro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Voltaire 1, 2, 3, 4, 5

Waff, Craig 1, 2

Wagner, Johann 1, 2

Wake 1

Walbeck 1

Walker, Adam 1, 2

Wallis, John 1

Walpole, Horace 1, 2, 3

Watson, William 1, 2, 3, 4, 5

Weber, Wilhelm 1, 2, 3

Wedgwood 1, 2

Wesley, John 1, 2, 3, 4

Westfall, Robert 1, 2

Westrum 1

Wheatstone 1

Wheler, George 1
  Granville 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29

Whewell, William 1, 2, 3

Whiston 1

White, Samuel 1

Williams, Anna 1
  Stanley 1

Wilson, Benjamin 1, 2, 3, 4
  Curtis 1

Winkler 1

Winthrop, John 1

Wordsworth, William 1, 2

Wright, Joseph 1
  Thomas 1

Wundt 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Yate, Richard 1

Yeoman, Thomas 1

York, duc de 1

Young, Arthur 1
  Thomas 1

This file was downloaded from Z-Library project



Your gateway to knowledge and culture. Accessible for everyone.

z-library.sk z-lib.gs z-lib.fm go-to-library.sk

Official Telegram channel

Z-Access

https://wikipedia.org/wiki/Z-Library