

HISTOIRE

LES MACHINES CALCULATRICES
DE BABBAGE ET LE
« FACTORY SYSTEM »

Simon SCHAFFER

« Je souhaiterais que mes amis de Paris aient connaissance de la Machine calculatrice et de ma façon d'expliquer les opérations successives des machines dans leur ensemble. Cette dernière ayant reçu un application pratique sur des lieux de travail a prouvé son utilité dans l'exercice des métiers, mais elle est surtout intéressante pour le philosophe car elle a sa place parmi les systèmes de signes dont l'homme se sert pour étayer sa capacité de raisonnement » (1).

L'invisible industrie des tables astronomiques

Le monde des laboratoires scientifiques se présente comme un vaste déploiement de marchandises. Mais les savants apprécient rarement le labeur qu'elles ont exigé et dont ils dépendent pourtant. Ils se fient entièrement à des machines, à des textes, à

des techniques, dont ils n'ont ni le souci, ni le besoin, ni même (parfois) l'autorisation de connaître le processus fragile et contingent de mise au point. Dans leur univers, la production du savoir dépend d'une sorte de fétichisme qui consiste à considérer les résultats du travail des autres comme des phénomènes naturels. Et pourtant, le *Denkkollektive* de Fleck, les paradigmes de Kuhn, la courroie protectrice de Lakatos et les *réseaux des porte-parole* (2) de Callon, nous rappellent tous que la recherche repose sur une confiance sans restriction envers des produits dus à d'autres scientifiques (3). Une bonne façon de se représenter cet univers consiste à établir la cartographie des laboratoires dans lesquels les processus de production des différentes marchandises sont pris en considération ou revêtent une certaine importance. Dans un observatoire astronomique du XIX^e siècle, par exemple, les calculateurs humains savaient peu de chose des méthodes de fabrication des instruments tandis que les spectroscopistes et les météorologistes faisaient leur métier en oubliant tout le labeur investi dans l'élaboration et la vérification de centaines de volumes consacrés aux temps et positions des étoiles et remplis de logarithmes et d'équations trigonométriques, dont leurs bibliothèques étaient pleines. Au Royal Observatory de Greenwich, « pour une personne activement attelée à un télescope, le visiteur pouvait en voir un douzaine écrivant ou faisant des calculs derrière un bureau ». Leurs porte-parole comparaient publiquement ces observatoires à des bureaux de perception des impôts, avec des registres bourrés de chiffres et l'application rigide du principe bureaucratique de la division du travail (4).

(1) BABBAGE à Dupin, 20 décembre 1833, British Library MSS ADD 37188 f. 117.

(2) En français dans le texte.

(3) Pour ce qui est de la science considérée comme un système de confiance (plutôt que de scepticisme) organisé se reporter à Steven SHAPIN. Les sources mentionnées au-dessus sont les suivantes : Ludwick FLECK, *Genesis and Development of a Scientific Fact* (Chicago : Chicago University Press 1979) ; T.S. KUHN, « Second Thoughts on Paradigms », dans *The Essential Tension* (Chicago : Chicago University Press, 1977), chapitre 12 ; I. LAKATOS « Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes », dans I. LAKATOS et A. MUSGRAVE éd. *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge : Cambridge University Press, 1971), 91-195 ; M. CAL-LON, « Éléments pour une sociologie de la traduction », *L'Année sociologique* (PUF, Paris, 1986), 169-208.

(4) Astronomer Royal's Report, 1853, cité par J.A. BENNETT, « George Biddell Airy and Horology », *Annals of Science* 37 (1980), 269-85, p. 282 ; Walter MAUNDER, *The Royal Observatory Greenwich* (London : Religious Tract Society, 1900) p. 137. Se reporter à Robert W. SMITH, « A National Observatory Transformed : Greenwich in the Nineteenth Century », *Journal for the History of Astronomy* 22 (1991), 5-20.

Toute étude sur la présence invisible de l'industrie dans les laboratoires scientifiques se doit de soulever ce problème de la production des marchandises. J'ai choisi la science, et en particulier l'astronomie, de l'époque victorienne, parce que cette façon de procéder fut institutionnalisée à ce moment-là. Marx ne fut pas le seul journaliste du Londres victorien à déceler le double processus par lequel la force de travail était réifiée pendant que les marchandises prenaient un caractère de fétiches. Ainsi, en 1843, George Dodd, auteur d'une série d'enquêtes sur les manufactures londoniennes, qui comptaient parmi les *best-sellers*, expliquait à ses lecteurs de la métropole que « le simple fait que celui qui possède de l'argent puisse commander n'importe quelle sorte de produit d'échange paraît agir comme un voile qui cache le producteur aux yeux du consommateur... de la même manière que, pour ce qui concerne les intermédiaires, les patrons n'ont qu'une vague connaissance de la source par laquelle ils obtiennent leurs fournitures ». L'efficacité même du réseau de consommation et de production obscurcissait son fonctionnement réel (5). Au XIX^e siècle, les successives expositions consacrées « aux travaux et industries de toutes les nations » représentaient ce que Walter Benjamin appela des « lieux de pèlerinages dédiés à la marchandise fétiche ». Le Crystal Palace fut, comme son nom l'indique, un étalage transparent de cette marchandise - sauf que les opérations de production étaient invisibles et les prix des produits absents. Les 300 000 panneaux de verre du « palace » avaient été fabriqués par les verriers de Birmingham Chance Brothers. Lorsque l'énergique journaliste économique Harriet Martineau visita leur verrerie, un an après l'exposition, on lui recom-

manda de ne pas faire trop de révélations à ses lecteurs passionnés sur les conditions dans lesquelles la force de travail y était exploitée (6).

Cet intéressant mécanisme de dissimulation d'une part, d'étalage et de transformation en marchandise de l'autre, apparaissait avec évidence dans le secteur victorien de l'astronomie. Au cours de la première moitié du XIX^e siècle, la division du travail, la réification de ses capacités et le fétichisme touchant ses produits y étaient tous activement agencés. Les astronomes de l'époque étaient imbattables sur les processus du commerce et de la production, ils se révélèrent des économistes remarquablement astucieux. L'historien William Ashworth a fait remarquer que les fondateurs de la London Astronomical Society (1820), y compris Charles Babbage, Francis Baily et Henry Colebrooke, intervenaient activement dans le secteur bancaire dans les assurances et dans la réforme fiscale. Ils réalisaient des tables de mortalité, lançaient de nouveaux schémas d'investissement et élaboraient des théories sur le système de production. Leurs valeurs étaient celles du capital de la finance (7). Par tradition, les astronomes étaient représentés comme des observateurs isolés, directement en contact avec la voûte céleste. Au cours du XIX^e siècle, leur pratique personnelle, de même que leur réputation dans le public, se référèrent de plus en plus à une conception industrielle de la pratique de l'astronomie. La tour de guet était devenue une usine. Les dirigeants passèrent autant de temps à scruter leurs subordonnés qu'à scruter les étoiles. Le doyen des astronomes victoriens, John Herschel, expliquait qu'« en astronomie, les cadres supérieurs, qui se consacraient aux théories, étaient entièrement dégagés de la routine de l'observa-

(5) George DODD, *Days at the Factories* (Charles Knight, London, 1843), p. 1.

(6) Walter BENJAMIN, *Paris, capitale du XIX^e siècle*, éd. Rolf Tiedemann, réédition (Le Cerf, Paris, 1993), p. 39. Thomas RICHARDS, *The Commodity Culture of Victorian England* (Verso, Londres, 1991) ; Paul GREENHALGH, *Ephemeral Vistas : the Expositions Universelles, Great Exhibitions and Worlds Fairs 1851-1939* (Manchester University Press, Manchester 1991) ; Armand MATTELART, *L'invention de la communication* (La Découverte, Paris 1994), pp. 132-9. Pour Chance Brothers et Martineau se reporter à Clive BEHAGG, « Secrecy, Ritual and Folk Violence : the Opacity of the Workplace in the First Half of the Nineteenth Century », dans R. D. Storch, éd., *Popular Culture and Custom in Nineteenth Century England* (Croom Helm, London, 1982), 154-79, pp. 156-9.

(7) William ASHWORTH, « The Calculating Eye », *British Journal for the History of Science* 28 (1994).

tion pratique ». L'objectif de l'astronome, et par suite des autres scientifiques, était « de se rendre aussi indépendant que possible des imperfections nécessairement attachées à n'importe quel instrument que (le fabricant) pouvait placer entre ses mains ». Se rendre indépendant vis-à-vis des artisans et dominer les observateurs scientifiques devinrent les objectifs des dirigeants des observatoires et laboratoires de l'Angleterre victorienne. Les dirigeants des observatoires pouvaient acquérir une autonomie complète par rapport à l'ensemble de ceux-ci en les surveillant étroitement et en mécanisant leurs activités (8).

George Airy, le sévère directeur du Royal Observatory, déclarait que l'observation astronomique devait être traitée de la même façon qu'une branche de l'industrie minière : « Une observation est comme un morceau de minerai, sa production, à partir du moment où les machines appropriées sont fournies, ne demande qu'un travail des plus ordinaires, et elle ne prend de la valeur que lorsqu'elle est fondue. » Dans le système mécanisée de l'observatoire, les données étaient fétichisées et le travail de ceux qui pratiquaient les observations et les calculs était réifié en conséquence. En 1832, Airy expliquait que « la tâche d'un observateur d'étoiles ordinaire était la plus routinière qui soit. Quant au *beau idéal* (9) de leurs collègues tout en haut de l'échelle, ce n'était rien de plus qu'un mélange d'horloger et d'employé de banque (10) ». Des développements techniques comme la mise au point de « l'équation personnelle », c'est-à-dire le temps de réaction variable mais mesurable des différents observateurs, exigèrent d'enrégimenter tous les travailleurs de

l'observatoire. Des étoiles artificielles se déplaçant selon une vitesse connue en travers du micromètre à fil du télescope furent utilisées pour mesurer les performances à l'oculaire de chaque observateur astronomique. Des chronomètres galvaniques et mécaniques servirent à effectuer les mesures. Le contrôle sur l'activité d'observation échappa aux individus qui en étaient chargés pour devenir l'apanage d'un collectif de dirigeants, d'horlogers et d'électriciens. Des dirigeants d'observatoires financés par le public, tels Airy, Quetelet (Bruxelles), Struve (Poukovo) et Arago (Paris) pratiquaient un tri routinier de leurs employés. Arago produisit un texte faisant état de sa soumission au savoir-faire des horlogers et de l'incitation à la division du travail d'observation qui en découlait. Des machines portaient le fardeau de la confiance : « Si l'on veut, à l'avenir, s'affranchir des erreurs personnelles, il deviendra nécessaire, pour parler ainsi, de se décharger sur le chronomètre du fardeau de l'évaluation de la seconde ou de la fraction de seconde correspondant aux passages des étoiles », déclarait Arago. Pour un contemporain américain, un observateur astronomique n'était qu'une « machine imparfaite et inconstante ». A présent, toute « observation » du passage d'un astre au méridien devenait le produit d'une équipe étroitement unie d'observateurs, auxquels s'ajoutaient un grand nombre de collaborateurs (11).

La référence de certains astronomes à une « machine imparfaite et inconstante » attire l'attention sur les éléments de leurs nouveaux réseaux auxquels il leur était encore impossible de se fier. Les éléments non fiables ne pouvaient pas fonctionner

(8) Les commentaires de HERSCHEL à propos de la « supériorité » de la théorie se trouvent dans son *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (Longman, Rees, Orme, Brown et Green, Londres, 1831), p. 132. Ses remarques sur les instruments sont dans *Outlines of Astronomy*, 4^e éd. (Longman, Brown, Green et Longmans, Londres, 1851), p. 76.

(9) En français dans le texte.

(10) G.B. AIRY, « Report on the Progress of Astronomy during the Present Century », dans *Report of the Second Meeting of the British Association for the Advancement of Science* (John Murray, Londres, 1833), 125-89, p. 184 ; AIRY à Harcourt, 5 septembre 1832, dans Jack Morrell et Arnold Thackray, *Gentlemen of Science : Early Correspondence of the British Association for the Advancement of Science* (Royal Historical Society, Londres 1984), p. 151.

(11) D.J.F. ARAGO, « Mémoire sur un moyen très simple de s'affranchir des erreurs personnelles », dans M.J.A. Barral éd., *Oeuvres complètes de François Arago* (Gide, Paris, 1859), 5 : 233-44. Au sujet de la mécanisation de l'équation personnelle se reporter à Simon SCHAFFER, « Astronomers Mark Time », *Science in Context* 2 (1988), 115-145.

comme des marchandises, parce que leur statut public ne pouvait être garanti et que les détails de leur production n'en devenaient que trop manifestes. Pour ce qui est des observateurs astronomiques, l'apport d'une certaine mécanisation et la tutelle qui s'était abattue sur eux avaient permis de transformer les défauts dus à leurs fluctuations en prévisibilités mesurables. Mais les calculateurs astronomiques et leurs tables posaient un problème encore plus sérieux. Dans les laboratoires scientifiques, il n'existe sans doute pas de meilleur exemple de l'invisibilité de l'industrie que celui de la présence des tables mathématiques. Ici, la fiabilité doit être absolue et, par voie de conséquence, le travail requis pour vérifier ou remettre en question un nombre tabulaire est immense. Les astronomes du début du XIX^e siècle traversèrent une crise en rapport avec leurs propres calculateurs, parce qu'ils ne pouvaient pas leur faire confiance et que le travail fourni ne pouvait pas être indiscutablement réifié. Le reste de l'article présente une entreprise qui visait à surmonter cette crise : les tentatives de Charles Babbage, depuis 1821 jusqu'au milieu des années 1850, pour inventer des machines calculatrices capables de produire des tables mathématiques parfaitement fiables (12).

Le cheminement de cette entreprise éclaire plusieurs aspects de la relation existant entre les fournitures industrielles et le travail scientifique :

(A) Des produits tels que les tables astronomiques ne pouvaient pas devenir des marchandises convenant aux sciences à moins d'être fiables et dégagés de la moindre trace d'erreur. Produire des tables fiables, que ce soit en partant de calculs humains ou mécaniques, et discipliner la force de travail industrielle, présentaient beaucoup de point commun.

(B) Cette similarité devint explicite à partir du moment où Babbage conçut des machines calculatrices pour produire des tables mathématiques. Ses machines, en effet, étaient agencées comme des manu-

factures de nombres. Il avait établi des analogies entre le système de production, le fonctionnement des machines calculatrices, et l'organisation de la science.

(C) Les machines calculatrices ne furent jamais utilisées pour fabriquer des tables astronomiques parce qu'elles ne devinrent jamais des marchandises. Des conflits avec la force de travail existante, avec les dirigeants des observatoires et avec les organisateurs d'expositions gâtèrent leur image de substituts fiables des calculateurs humains. Lorsque les processus du travail demeurent visibles, il est difficile d'assurer le statut des produits industriels.

(D) Les machines calculatrices acquièrent cependant bel et bien un statut exemplaire au sein de la science victorienne ; en tant qu'exemples des propriétés de la nature. Leur mise en vedette aida Darwin à se convaincre qu'il était possible d'expliquer l'origine des espèces par des mécanismes naturels, et leur présence dans le musée de son collègue suggéra à Maxwell son explication de l'éther électromagnétique par une infinité de rangées de roues d'engrenage. L'industrie joue un rôle idéologique et pratique dans l'élaboration des histoires formulées par la science à propos de la nature.

La prémisse directe de ce programme tenait à la mission des manuels de mathématiques supérieures. Au XIX^e siècle, des tables numériques prêtes à répondre sur-le-champ aux désirs du scientifique représentaient la condition de départ de la réussite en physique. Dans un observatoire, les tables des fonctions logarithmiques et trigonométriques, des temps méridiens et des positions de la Lune, jouaient le rôle des barèmes dans les bureaux de comptabilité. Pour ce qui concerne ceux-là, dans un exposé sur ce qu'il nommait « l'économie interne des manufactures », George Dodd faisait remarquer qu'il « devrait apparaître évident que dans un lieu où l'on employait plusieurs centaines d'hommes, dont une partie était payée à la journée, une autre à la pièce, et où l'on utilisait un grand nombre de matériaux différents, il était né-

(12) Se reporter par exemple à Doron SWADE, « The Tables Crisis » dans *Charles Babbage and his Calculating Engines* (Science Museum, Londres, 1991), pp. 1-5.

cessaire d'apporter le plus grand soin aux comptes commerciaux et de mettre sur pied un système bien organisé ; sinon on sombrerait dans la confusion la plus inextricable ». Et l'objectif des directeurs des nouveaux observatoires était précisément de mettre sur pied un système de ce genre pour gouverner leurs subalternes et gérer la production de leurs comptes administratifs (13). Ces nouveaux observatoires étaient une partie intégrante d'un Etat militaro-fiscal en expansion et d'un système industriel en régulation croissante. Airy se vantait du fait que dans son observatoire « une masse d'observations s'accumulent et, bien que limitées à leur objet, elles surpassent en régularité et en justesse, et peut-être en valeur générale, n'importe quelle autre observation effectuée jusqu'alors ». Ainsi « le Royal Observatory contribue tranquillement à la ponctualité des affaires à travers une large portion de ce pays animé » (14).

L'utopie des tables mathématiques incarnait plusieurs traits saillants de la civilisation victorienne. L'une des idées défendues était que des comptes fiables étaient une affaire de rectitude morale. Airy licenciat les calculateurs qui n'était pas « ponctuels au travail et, par voie de conséquence, impossibles à diriger », leur préférant les vaillants détenteurs du diplôme de mathématiques de Cambridge, à la probité desquels il pouvait se fier. Babbage possédait précisément ce diplôme et, en 1814, il tenta brièvement de rejoindre l'équipe de Greenwich en qualité de calculateur mais Herschel le dissuada de postuler pour cette tâche impitoyable (15). Lors de campagnes en faveur d'étalons universels, auxquelles Babbage, Airy et Herschel

prirent part, l'accent était très nettement porté sur cette idée de rectitude morale. L'intérêt pour les tables métrologiques aboutissait à un fétichisme touchant le travail des calculateurs. Les experts victoriens estimaient que la « valeur générale » des étalons légaux dépendait du travail qui avait été investi dans leur production, mais que ce travail devait devenir invisible une fois les étalons établis et répandus. Ils se donnèrent tous beaucoup de mal pour que le travail investi dans la mise au point d'étalons s'éclipse. Ainsi, alors que Herschel décrivait « le labeur extraordinaire consacré à constituer », entre 1824 et 1855, le *yard* légal, à grand renfort de commissions conflictuelles et de mesures industrielles financées par des fonds publics, il insistait sur l'idée que « notre *yard* est tout bonnement un objet matériel défini dont on a éliminé avec zèle toute référence à son origine réelle, et qui pourrait aussi bien être tombé des nuages ». L'étalon de longueur se transforma en fétiche national, ses copies furent cimentées dans les murs du ministère du Commerce, des chambres du Parlement et du Royal Observatory (16).

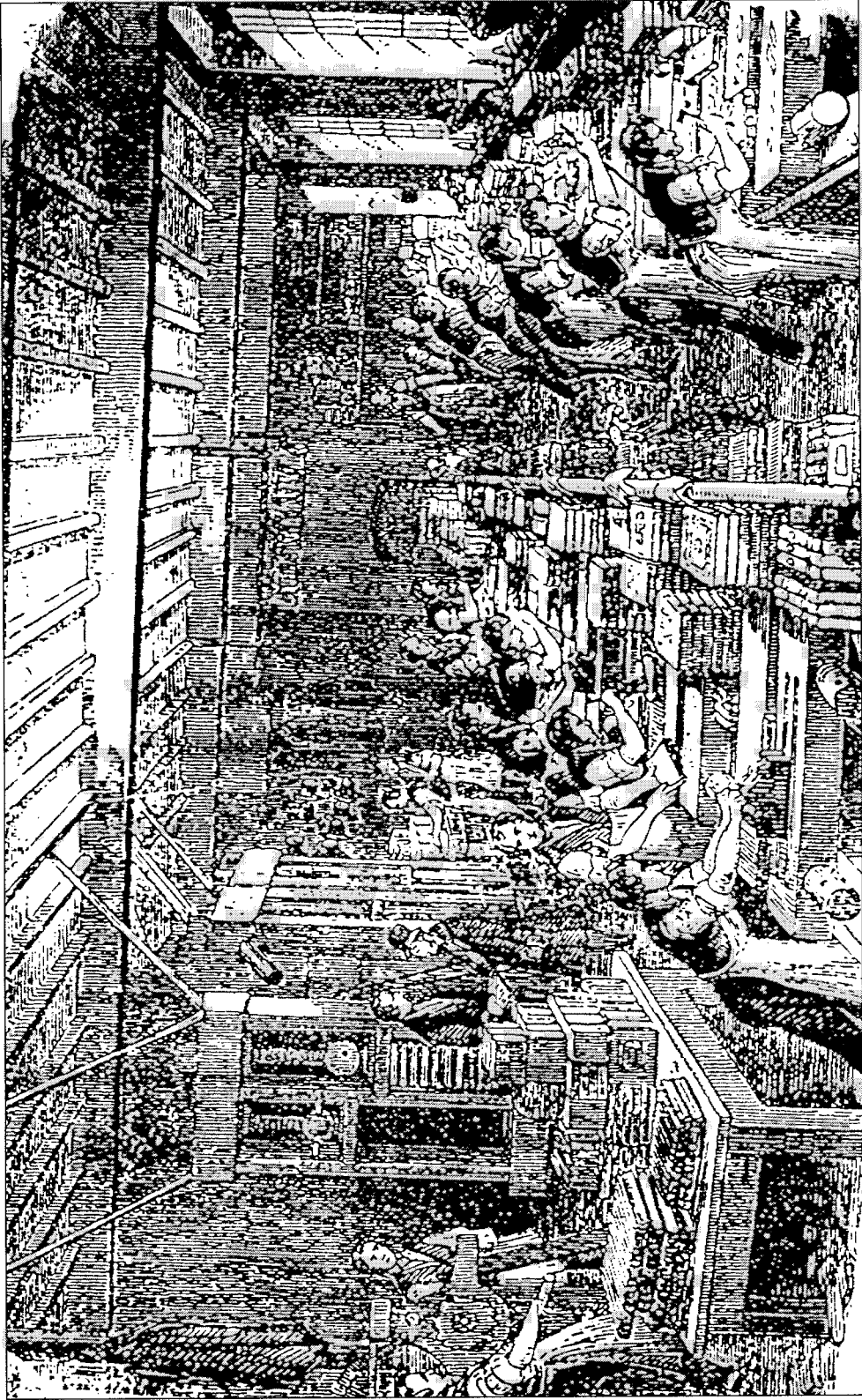
Dans les années 1830, Babbage essaya d'établir sur papier le recueil des étalons de ce genre, sous le titre de *Table des invariants de la nature et de l'art*. Les mots « invariants de la nature » représentaient un néologisme que Babbage contribua à forger. Il appuyait la laborieuse préparation d'une encyclopédie destinée à contenir « tout ces faits appartenant aux diverses sciences et aux différents arts et dont l'expression pouvait s'exprimer par des nombres ». La *Table* constituerait « un moyen permanent de progression vers la

(13) Le meilleure étude sur le problème de la fiabilité des tables mathématiques est celle de Andrew WARWICK, « The Laboratory of Theory », dans M. Norton Wise, éd., *Values of Precision* (Princeton : Princeton University Press, 1995) ; la citation est tirée de *Days at the Factories*, p. 517 de DODD.

(14) AIRY, « Report on the Progress of Astronomy during the Present Century », p. 124 ; pour l'Etat militaro-fiscal se reporter à John BREWER, *The Sinews of Power : War, Money and the English State* (Unwin Hyman, Londres, 1989).

(15) Allan CHAPMAN, « Sir George Airy and the Concept of International Standards in Science, Timekeeping and Navigation », *Vistas in Astronomy* 28 (1985) 321-8 et William GINN, *Philosophers and Artisans : Men of Science and Instruments Makers in London 1820-1860* (PhD thesis, Kent University, 1991), p. 237 ; HERSCHEL à Babbage, 25 octobre 1814, Royal Society HS 2.31.

(16) John Herschel, « The Yard, the Pendulum, and the Metre » (1863), dans *Familiar Lectures on Scientific Subjects* (Alexander Strahan, Londres, 1867), 419-51, pp. 429-32 ; se reporter à Julian HOPPIT, « Reforming Britain's Weights and Measures », *English Historical Review*, (1993), 82-104.



Un atelier de reliure. La fabrique de Messr. Westley & Clarck

vérité, procurant continuellement des définitions plus précises des faits établis et une description fidèle des faits nouveaux » (17). Le summum de cette vision fut atteint plus tard au cours du siècle, quand le prééminent physicien et entrepreneur de Glasgow sir William Thomson insista sur le message selon lequel la mise en forme parfaite de tables numériques garantirait l'indépendance des sciences exactes par rapport à toute ingérence locale. Dans un remarquable exercice de science-fiction, Thomson esquissait la carrière d'un « voyageur scientifique parcourant l'univers » équipé de sa seule habileté et d'un recueil de tables parfaitement fiable. « En ce qui me concerne, disait Thomson à ses collègues de la Société des ingénieurs civils, le plus court et le plus sûr moyen de me hausser jusqu'à la philosophie du mesurage consiste à couper toute liaison avec la Terre et de réfléchir à ce qu'il faudrait alors faire pour effectuer des mesures qui seraient très précisément comparables à celles que nous effectuons réellement dans nos ateliers et laboratoires. Supposons, à partir de là, que notre voyageur ait perdu sa montre et sa règle graduée mais non pas ses livres scientifiques. » Thomson imaginait ensuite le voyageur scientifique, ainsi équipé, en train de retrouver les unités de longueur, de temps et de résistance électrique par la comparaison d'étalons improvisés avec les nombres faisant autorité contenus dans ses « livres scientifiques ». Par l'extension de ces techniques, et à la seule condition de pouvoir se fier à la qualité de ses tables numériques, n'importe quel individu victorien solitaire était apparemment en position de reconstituer sa civilisation (18).

Nous avons là l'une des utopies victoriennes – quelque chose qui ne se produit nulle part. Au début du XIXe siècle, de

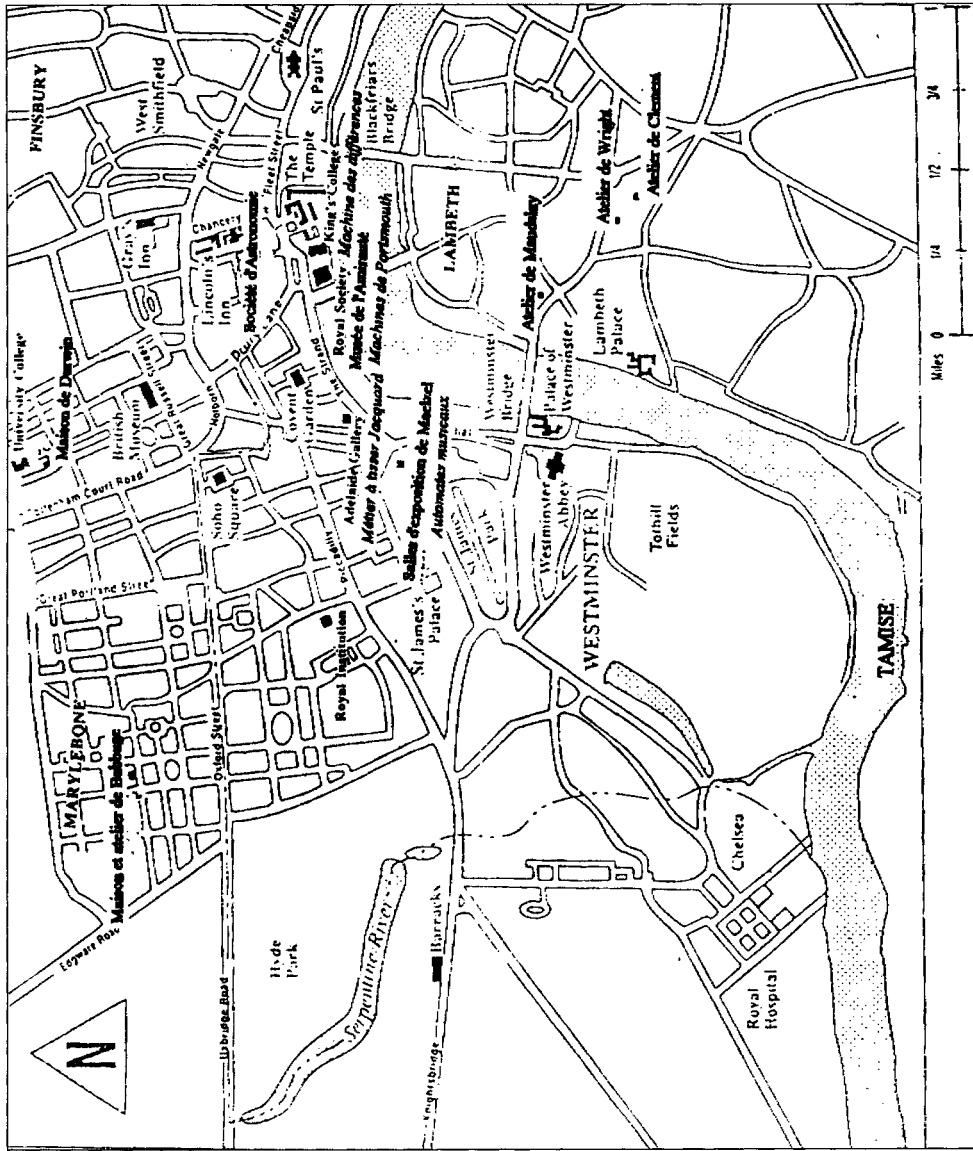
nombreuses bibliothèques de scientifiques contenaient au minimum 125 volumes de tables. Ces dernières pouvaient renfermer des milliers d'erreurs provenant aussi bien des calculs que de la copie, de la correction ou de l'impression. Dionysius Lardner, le journaliste travaillant comme agent de publicité pour Babbage, déclarait, en 1834, que 40 tables, choisies au hasard, contenaient 3 700 erreurs repérées et de nombreuses autres non relevées. L'*Almanach nautique*, qui avait une importance cruciale, comportait au moins un millier d'erreurs, tandis que les tables de multiplications, dont les calculateurs de l'almanach se servaient parfois, étaient fautes au moins 40 fois par page. Les nombres contenus dans ce type de manuels reprenaient rarement les choses au départ et, très habituellement, s'appuyaient sur des recueils de données antérieurs – ainsi, en 1825, quelqu'un fit remarquer que dans vingt tables apparemment sans rapport entre elles on pouvait découvrir au moins les mêmes six erreurs. Ce genre d'erreurs constituait une infection pour le corps scientifique. John Herschel les comparait à des « rochers immergés », sur lesquels les navigateurs errants s'échouaient presque littéralement. Un jour, Babbage déclara qu'à son avis l'Etat avait perdu au moins 3 millions de £ du seul fait des erreurs contenues dans les tables d'annués (19).

Babbage, fils et héritier de banquier, mathématicien de Cambridge et analyste obsessionnel, possédait plus de 300 ouvrages de tables. Parmi ses trésors se trouvaient quelques pages des célèbres tables décimales de G.F. Prony, datant des années 1790, et commandées alors par l'Etat français pour les opérations de géodésie et la mise au point du système métrique. Ces tables n'avaient jamais été publiées mais

(17) Charles BABBAGE, « On tables of the constants of nature and art », *Smithsonian Institution Annual Report* (1856), 289-302, pp. 289, 293-4. Pour les « invariants » se reporter à Ian HACKING, *The Taming of Chance* (Cambridge, Cambridge University Press, 1990), p. 57.

(18) William THOMSON, *Popular Lectures and Adresses* (Macmillan, Londres 1894), 2 : 120. Pour le contexte des considérations de Thomson, se reporter à Simon SCHAFFER, « Victorian Meteorology and its Instrumentation : A Manufactory of Ohms », dans Suzan Cozzens et Robert Bud, éd. *Invisible Connexions* (SPIE Press, Bellingham, 1992), 23-56, p. 42. Alfred Jarry fait la satire de cette fantaisie de Thomson : voir Jarry, *Geste et opinions du docteur Faustroll, pataphysicien* (Gallimard, Paris, 1980), chapitre 37, 99-103 (écrit en 1898).

(19) SWADE, « The Tables Crisis » ; Michael WILLIAMS, « The Difference Engines », *Computer Journal* 19 (1976), 82-9.



Le Londres de Babbage

demeuraient un symbole pour les partisans anglais du calcul mécanisé, lesquels revenaient souvent sur l'histoire de Prony appliquant aux activités de calcul la division du travail théorisée par Smith et sur la pleine réussite de ses calculateurs, alors que ces derniers ignoraient tout de l'arithmétique en dehors des règles de l'addition et de la soustraction. Lorsque, en 1819, Babbage alla à Paris, il rencontra l'imprimeur Didot qui lui fit cadeau d'un exemplaire de la partie des tables de sinus déjà mise en page. Plus tard, dans son testament, Babbage devait léguer à son fils ces documents d'une valeur inestimable (20). Mais à Babbage lui-même échurent d'autres legs, moins agréables, qui dominèrent sa perception de la crise des tables. En 1826-1827, il conçut ses propres tableaux en confrontant des ensembles tabulaires différents et découvrit 32 erreurs dans son manuscrit et 8 autres après composition. C'était un travail étonnant. Quand il fit don d'un exemplaire à l'Etat, pour permettre une vérification des tables utilisées à Greenwich, celles-ci montrèrent qu'elles comportaient 19 fautes. Et, une fois les corrections imprimées dans *L'Almanach nautique*, l'errata lui-même contenait de nouvelles erreurs. Aussi tard que dans les années 1860, Babbage pouvait encore signaler que des tables aussi prééminentes que celles des données sur les mouvements lunaires utilisées par Airy et les analystes français Pontécoulant et Delaunay ne faisaient qu'empirer, leurs errata doublant de volume sur une période de cinq ans. Ces faits constituaient des problèmes moraux, économiques et pratiques qui sapèrent les bases même de l'institution victorienne de la certitude mathématique et du fétichisme de la précision. « La grande importance attachée à l'existence de tables précises est admise par tous ceux

qui comprennent leur utilisation ; mais la multitude d'erreurs qui s'y glissent est comparativement peu connue », proférait Babbage. « Cependant, il n'est que trop juste que les personnages éminents qui ont présidé à la préparation de ces travaux pour l'imprimerie se rendent compte que la faute réelle ne leur est pas imputable mais tient à la *nature des choses* ». En attirant l'attention sur les erreurs tabulaires et en essayant de changer la nature des choses, Babbage, simultanément, mettait en question et rendait visible l'industrie sur laquelle reposait l'autorité attachée aux tables. C'est pourquoi sa campagne en faveur de la fabrication de tables par des techniques industrielles resta au centre même des schémas victoriens de la science et du système de production (21).

La visible industrie des machines calculatrices

Dans ce qui suit, je me penche sur la production conjointe de schémas idéologiquement marqués concernant l'intelligence et des systèmes chargés politiquement du machinisme. Pour donner l'impression que certaines machines étaient intelligentes, il fallait faire en sorte que la source de leurs capacités, la force de travail qui les entourait et les actionnait, soit rendue invisible. C'est la raison pour laquelle la brillante étude de Siegfried Giedion sur l'automatisation est sous-titrée « contribution à l'histoire anonyme ». De même que lui, je m'intéresse *aux lieux* mondains où l'on pensait, dans le but de confronter l'utopie mathématique victorienne à la géographie victorienne du Londres industriel, commercial et philosophique. Dans les années 1820 et 1830, Londres était un univers fractionné. Son plan revêt de l'importance en raison d'une relation intéressante entre

(20) BABBAGE, *A Letter to Humphry Davy* (Booth, Londres, 1822), p. 8. Le don de Didot en 1819 est mentionné au début de l'exemplaire des tables de sinus de Babbage, Bibliothèque de l'université de Cambridge MSS ADD 8705.37. Pour d'autres réactions aux travaux de Prony, se reporter à (Dionysius Lardner), « Babbage's Calculating Engines », *Edinburgh Review* 59 (1834), 263-327, p. 275. Au sujet de l'insertion des travaux de Prony dans le contexte de la Révolution se reporter à l'article de Lorraine DASTON à paraître dans *Critical Inquiry* (1994). Pour Prony, la géodésie et la division du travail, se reporter à Jean-Claude PERROT, *Une Histoire intellectuelle de l'économie politique* (EHESS, Paris 1992), p. 411 et à MATTELART, *L'Invention de la communication*, p. 78.

(21) Charles BABBAGE, *Passages from the Life of a Philosopher* (Longmans, Londres, 1864), pp. 138-40 (les anxiétés de Babbage).

la visibilité et la mécanisation (voir le plan du Londres de Babbage). Au sud du fleuve, à Lambeth, on trouvait les ateliers des mécaniciens dont le labeur accéléra la production des outils automatiques et des modèles de précision. Dans le milieu élégant du West End, des Londoniens comme il faut pouvaient assister, au cours de conférences publiques et dans des musées soigneusement ordonnés, à des démonstrations des exploits de ces nouveaux systèmes mécaniques. A West End également étaient implantés les gardiens de la raison scientifique, la Société d'astronomie, la Royal Society, la Royal Institution. En continuant vers le nord, dans les coquettes maisons de Marylebone, vivaient des hommes tels que Charles Babbage et Charles Darwin, ambitieux réformateurs qui cherchaient à repenser la nature humaine au nom d'un ordre scientifique et social reconstitué. Et au nord-est se trouvaient les vastes quartiers de la classe ouvrière, zones où Babbage essaya de se présenter à la députation et où ses adversaires socialistes débattaient avec lui lors des élections des effets du machinisme. Cet ensemble représente la géographie de la compréhension de Babbage, le monde où sa vision systématique se forgea (22).

Dans le monde de Babbage, l'octroi de l'automatisme au « factory system » s'accompagnait de l'opinion selon laquelle ses composants mécaniques possédaient une intelligence. Dans son projet de mécanisation de la production des tables numériques, il soumit la base industrielle de sa propre entreprise à un examen d'une rigueur sans précédent. Il tenta de faire que la fabrication, en particulier dans les métiers des machines-outils, ne soit *visible* que pour les directeurs des entreprises, cela afin de garantir la fiabilité de la production. Car, en même temps, pour que les produits de cette fabrication se transforment en marchandises avérées, il fallait

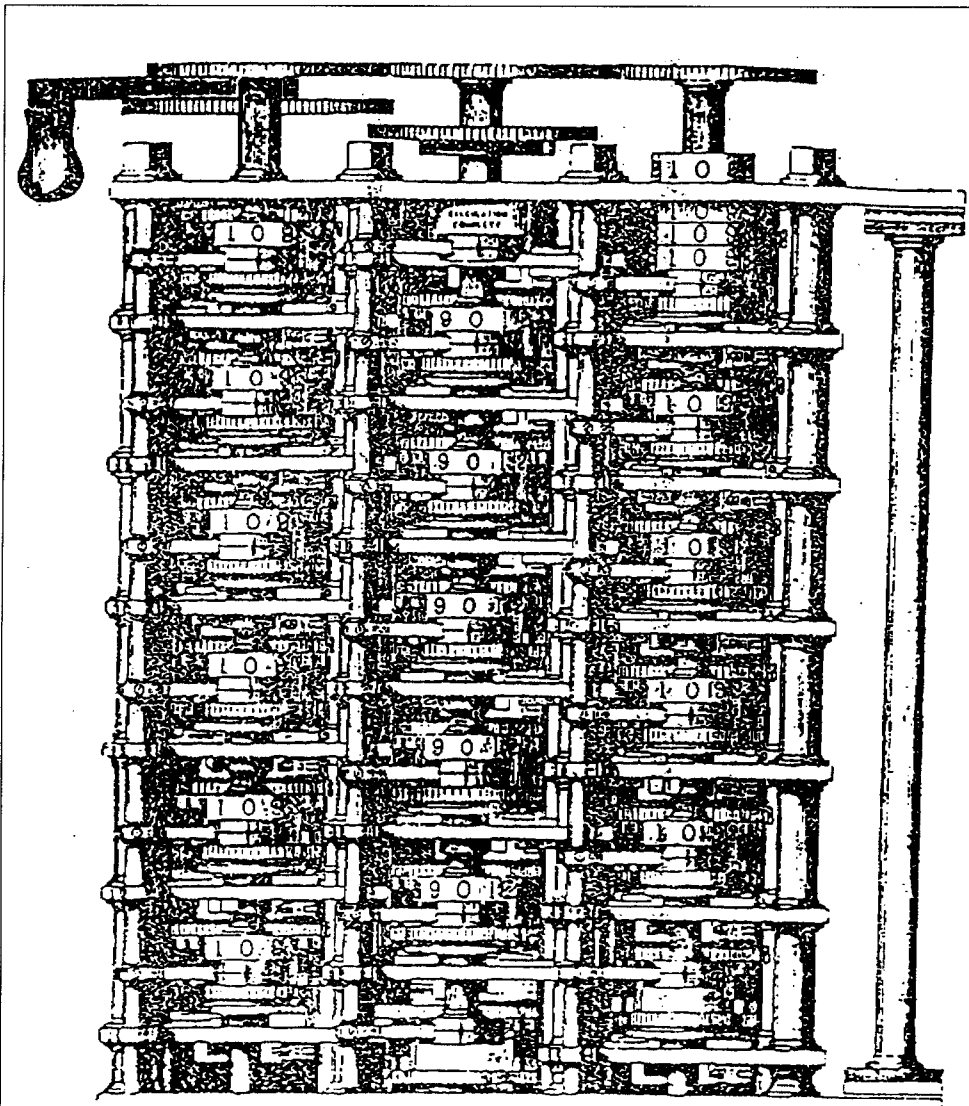
rendre le travail dont ils émanaient *invisible* aux yeux des consommateurs des marchandises. On disait aux utilisateurs des tables numériques que celles-ci avaient été produites uniquement par des machines et étaient, de ce fait, affranchies des étourderies liées au travail humain. Les contemporains étaient sensibles à ce double processus de surveillance de la fabrication et de réification de ses produits. Au début de 1824, dans une allocution à la Société d'astronomie, son président, le financier et mathématicien Henry Colebrooke, fit l'éloge du projet de machine de Babbage. « Dans d'autres cas, les schémas mécaniques remplaçaient des machines à des outils plus simples ou à du travail manuel... Mais l'invention dont je parle... substitue des capacités mécaniques à une activité intellectuelle. » En d'autres mots, « l'invention de M. Babbage met une machine à la place du calculateur », de l'être humain sur les qualités duquel les tables numériques reposaient auparavant (23). Babbage n'a pas inventé les « computers », il a, au contraire, essayé de s'en débarrasser (24). Il estimait être en mesure de discipliner suffisamment les ateliers de machines-outils londoniens pour préserver les tables numériques de leurs aléas.

Les projets de machines calculatrices dominèrent la carrière de Babbage depuis le moment où, riche et ambitieux mathématicien analyste, il s'établit à Londres, dans les années 1810. Sa Machine des différences était basée sur le principe mathématique selon lequel les différences successives des valeurs des polynômes étaient, de façon ultime, constantes, et que, par conséquent, ces valeurs pouvaient être calculées par addition ou soustraction de ces constantes prédéterminées. En ce qui concernait l'astronomie, les fonctions importantes, qui étaient des fonctions transcendentes, pouvaient être approchées dans un intervalle donné par une certaine fonc-

(22) Siegfried GIEDION, *Mechanization takes command : a contribution to anonymous history* (Norton, New York, 1969), p. 3 : « L'écriture de l'histoire s'attache toujours au fragment. » Pour la géographie de Londres, se reporter à Iwan MORUS, Jim SECORD, et Simon SCHAFFER, « Scientific London », dans Celina Fox, éd., *London-World City 1800-1840* (Yale : New Haven, 1992 / Kulturstiftung Ruhr, Essen), pp. 129-42.

(23) Henry COLEBROOK, « Address on presenting the Gold Medal of the Astronomical Society to Charles Babbage », *Memoirs of the Astronomical Society* 1 (1825), 509-12, pp. 509-10.

(24) En anglais le même mot « computer » signifie calculateur humain et ordinateur. (NdT).



(3) Tirage à partir d'une gravure sur bois d'une petite fraction de la Machines des différences N°1 de Mr. Babbage, propriété du gouvernement, à présent déposée au musée du King's College, Somerset House.

La machine fut commencée en 1823.

Cette fraction fut assemblée en 1833.

La construction fut abandonnée en 1842.

Ce tirage fut imprimé en juin 1853.

tion polynomiale. Les valeurs de cette fonction seraient calculées en des points choisis à l'intérieur de l'intervalle et vérifiées au niveau des points où ses valeurs d'origine étaient connues par ailleurs. La précision serait accrue en développant des valeurs d'un ordre de différences supérieur et en rapetissant l'intervalle d'interpolation. Ainsi le modèle de base de la Machine des différences, conçu dans les années 1820, devait être composé d'une série d'axes soutenant chacun des ensembles de roues dentées indépendants, dont les colonnes parallèles devaient représenter des colonnes des chiffres. Des mouvements d'engrenages pouvaient transformer les chiffres emmagasinés dans chaque colonne et un relais communiquait avec la zone des données pour imprimer sa production sur des blocs de métal. Le projet fut lancé à Londres pendant l'été 1822 et, après de nombreuses vicissitudes, y compris sa nationalisation au début de 1830, s'effondra au milieu des récriminations mutuelles entre Babbage et son maître-ingénieur Joseph Clement, lors de l'été 1834.

Ensuite, vers le milieu des années 1830, Babbage commença à négocier un nouveau contrat avec l'ancien dessinateur industriel de Clement, C.G. Jarvis, pour mettre au point un Machine analytique. Cette nouvelle machine constituait un système technique sans précédent. Elle était conçue pour contenir dans sa mémoire un millier de nombres de cinquante chiffres chacun. Le *stockage* se présentait sous forme d'ensembles de roues de chiffres parallèles structurés comme ceux du magasin de la Machine des différences ; le dispositif d'*input-output* s'appuyait sur des ensembles de cartes de chiffres et de cartes de variables, les dernières étant chargées de choisir les axes d'engrenage destinés à se mouvoir ; quant à la *commande* elle était transmise par ce que Babbage baptisa du nom de cartes d'exploitation. Des suites de cartes transmettaient à la machine des instructions qui étaient décodées dans le

magasin par l'utilisation d'une bibliothèque de fonctions logarithmiques et autres, puis réparties dans les sections d'exploitation de l'appareil. La répartition elle-même pouvait à son tour être modifiée par des variables soumises à l'état des opérations en cours à l'intérieur de la machine. Aspects prépondérants de la Machine, ses capacités de mémoire et d'anticipation devaient constituer la source intarissable où puiseraient la métaphysique et la politique économique de Babbage. « Rien d'autre au monde, si ce n'est le fait d'apprendre à la Machine à prévoir l'avenir et à agir en fonction de ces prévisions, n'aurait jamais pu me conduire vers l'objet que je désirais » (25). La science des opérations, c'est-à-dire une algèbre de l'analyse des machines, était ainsi proposée en tant que discipline intellectuelle et comme matière à fabriquer des valeurs précises.

Cette nouvelle science était supposée contribuer à rendre les opérations de production des machines transparentes. Initialement destinée à permettre de voir « d'un seul coup d'œil, à tout moment, les mouvements exécutés par chacune des pièces mobiles de l'appareillage », cette perception panoptique fut présentée comme une méthode universelle de gestion de la production. Babbage faisait ressortir les avantages des systèmes de signes mécaniques parce que « parmi tous nos sens, c'est la vue qui transmet le plus rapidement la compréhension à l'esprit ». Lardner expliquait que le fonctionnement du corps humain et les opérations de production pouvaient être représentés de la même manière. L'analogie entre la machine, le corps humain et l'atelier était immédiatement développée : ressemblaient à une machine « non seulement les attaches mécanique des solides membres du corps des hommes » mais également, « sous forme d'un assemblage cartographique ou planifié, l'organisation d'une vaste fabrique, ou de n'importe quelle grande institution publique, qui emploie un nombre très impor-

(25) Charles BABBAGE, *Passages*, p. 114. Se reporter à H.W. BUXTON, *Memoir of the Life and Labours of the late Charles Babbage*, R.A. Hyman (1880 ; Cambridge, MA. : MIT Press, 1988), pp. 80-102 ; Michael LINDGREN, *Glory and Failure : the Difference Engines of Johann Müller, Charles Babbage and Georg and Edward Scheutz*, (Cambridge, MA. : MIT Press, 1990), pp. 52-59.

tant d'individus, dont les tâches (comme c'est le cas généralement, ou comme ce devrait l'être) sont soumises à une régulation par un système conséquent et bien compris ». Sous le regard de Babbage les manufactures ressemblaient à des appareils parfaits et les machines calculatrices à des calculateurs humains parfaits. La main-d'œuvre pouvait être une source d'ennuis : elle pouvait introduire des erreurs dans les tables numériques et mettre en panne les manufactures. On ne pouvait pas la considérer comme une source de valeur. Le point de vue panoptique, qui permettait de se rendre compte du fonctionnement fiable des machines calculatrices, du bon ordre du « factory system », et des mécanismes du corps humain, faisait aussi que le savoir-faire traditionnel de la force de travail, de même que ses résistances, passaient plutôt inaperçus. (26).

Comme certains historiens, tel Maxine Berg, l'ont démontré, la mise au point de ces machines à fabriquer des nombres intervint parallèlement aux prises de position des disciples de Ricardo en matière d'économie politique. La « philosophie de manufactures » a fourni à Babbage un schéma de ce qu'il nommait « l'économie domestique de la fabrique » ainsi qu'une analyse du travail qualifié incorporé dans les machines. Les publications de Babbage concernant l'économie de la manufacture culminèrent dans sa grande enquête de 1832, *On the economy of machinery and manufactures*, un travail fondé sur des renseignements glanés partout dans les manufactures de Grande-Bretagne, et qui fut rapidement traduit dans les principales langues européennes. Etant donné que la Machine analytique était une « ma-

nufacture de chiffres », Babbage se voyait obligé d'exposer sa définition de la « manufacture ». « Il existe une différence considérable entre les termes faire et manifester », expliquait-il dans ses textes économiques. La différence résidait dans la régulation économique du système intérieur de la fabrique. Cela entraînait Babbage à réinterpréter la conception d'Adam Smith sur la division du travail, et, comme il le soulignait, le principe fondamental de cette division, qui devait permettre la régulation analytique fine du processus de fabrication. Le « principe de Babbage », comme on l'appela, s'appliquait aussi bien à la régulation de la manufacture qu'à celle des machines calculatrices :

« Le maître de fabrique, lorsqu'il divise le travail à exécuter en différentes opérations, chacune nécessitant différents degrés de compétence et de force musculaire, peut à chaque fois se procurer la quantité précise de ses deux éléments ; alors que dans le cas où un unique travailleur devrait exécuter l'ensemble de l'ouvrage, il devrait posséder simultanément tout le savoir-faire nécessaire par ce que l'ouvrage comporte de plus difficile et toute la force physique requise par les opérations les plus pénibles » (27).

Ainsi que Babbage et ses alliés parmi les économistes politiques le montrèrent, ramener le processus de production à ses composantes les plus simples rendait possible toute une série d'économies et de pratiques de surveillance. La production mécanisée nécessitait une stricte discipline. La même chose valait pour les machines calculatrices. Morceler les processus d'analyse de Lagrange en composantes spécifiques permettait d'accroître la rapi-

(26) BABBAGE, « On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery », *Philosophical Transactions* 116 (1826), 250-65, plus une ébauche à la bibliothèque de l'université de Cambridge MSS ADD 8705.21 ; (Lardner), « Babbage's Calculating Engine », pp. 318-319. Au sujet de la collaboration de Lardner avec Babbage pour ce qui est de la représentation mécanique, ainsi qu'au sujet de la publicité qu'il fit à Paris et Berlin, se reporter à BABBAGE à Dupin, 20 décembre 1833 et à BABBAGE à Humboldt, décembre 1833, *British Library MSS ADD 37 188 ff. 117, 123*.

(27) Ada LOVELACE, « Sketch of the Analytical Engine by L.F. Menabrea », *Taylor's Scientific Memoirs* 3 (1843), 666-731 ; Maxine BERG, *The Machinery Question of the Making of Political Economy 1815-1848* (Cambridge : Cambridge University Press, 1980), pp. 182-89 ; BABBAGE, *On the Economy of Machinery and Manufactures* 4^e éd. (Charles Knight, Londres 1835), pp. 120, 175. Se reporter à Richard M. Romano, « The Economic Ideas of Charles Babbage », *History of Political Economy* 14 (1982), 385-405, p. 391. Pour la réponse de MARX au principe de Babbage se reporter à Karl MARX, *Le Capital*, livre premier (Éditions sociales, Paris, 1977), p. 254 : « Le travailleur collectif possède maintenant toutes les facultés productives au même degré de virtuosité et les dépense le plus économiquement possible. »

dité de la machine, de transformer une infinité d'espaces temporels en un temps maîtrisable, d'obtenir le meilleur rendement de chaque composante par rapport à la force mécanique dépensée (quand il s'agissait de machines) ou aux salaires octroyés (quand il s'agissait d'êtres humains). « Toute l'histoire de cette invention se résume à une lutte contre le temps », écrivait Babbage en 1837. Le remplacement de l'intelligence humaine par l'intelligence mécanique était tout aussi apparente dans l'atelier que dans les machines. Cette entreprise était nécessaire à la fois *politiquement et économiquement*. « L'un des grands avantages que nous retirons de la mécanisation réside dans le contrôle qu'elle instaure sur l'inattention, la paresse et la malhonnêteté des exécutants humains ». Ces défauts-là pouvaient être la cause de résultats erronés qui viciaient les calculs et faisaient que, dès lors, les tables numériques n'étaient plus considérées comme des marchandises fiables. C'est la raison pour laquelle Babbage fut toujours fasciné par l'expérience de Prony, qui prouvait que, à condition d'être dirigés correctement, ses calculateurs les moins intelligents se révélaient être les plus sûrs. Les exécutants non fiables risquaient également de former des organisations syndicales, lesquelles, soutenait Babbage, étaient toujours « injurieuses » à l'égard de la force de travail elle-même. Son objectif en la matière était de contester les effets de la « désignation de personnes » et de montrer aux classes prolétariennes que « la prospérité et la réussite du maître de fabrique étaient essentielles au bien-être du travailleur » même si « cette relation de cause à effet était, dans de nombreux cas, trop hors de vue pour être comprise par ce dernier » (28).

La stratégie politique de Babbage, au cours de la décennie de luttes des années 1830, comportait l'ébauche d'un rôle de premier plan dévolu à l'administrateur analytique. La machinerie de la fabrique et les machines calculatrices effaçaient l'intelligence individuelle du travailleur. Seules la *combinaison* et la *corrélation* de chacune des composantes au niveau supérieur garantissaient une exécution efficace, économique, planifiée et par conséquent intelligente. Ce fonctionnement abstrait, équivalent presque à une loi, était uniquement visible par les surveillants d'ateliers, des hommes semblables à Babbage. Il ne fait pas de doute que sa propre position de spécialiste distingué lui fut une aide. En 1827, il hérita 100 000 £ de son père banquier tandis que, au cours de la décennie suivante, l'Etat dépensait plus de 17 000 £ pour ses machines. « Parmi les actions visant à l'amélioration de ses manufactures, celles qu'un pays peut entreprendre avec le plus de chances de succès, défendait-il dans son texte sur les machines, émanent de l'effort combiné de tous ceux qui sont à la fois les plus compétents sur le plan théorique et les plus habiles dans la pratique des métiers ; chacun œuvrant dans la section où ses talents naturels et ses habitudes acquises le rendent le plus utile ».

De telles déclarations faisaient de la nouvelle classe des gestionnaires analystes les administrateurs économiques suprêmes et les législateurs du bien-être social. Dans un bon style bonapartiste, Babbage pensait qu'ils devaient être récompensés par les pairies à vie, d'invention récente, et par le pouvoir politique (29). La science du calcul devint la discipline législative suprême, de la même manière que les machines calculatrices fournissaient à la fois la coordination législative et exécutive. Ce langage politique et gestionnaire n'était

(28) BABBAGE, *Economy of Machinery*, pp. 54, 250-1 ; BUXTON, *Memoir of Babbage*, p. 194. Une très utile étude de la théorie sur le calcul qui sous-tend les machines est celle de Jean MOSCONO, « Charles Babbage : vers une théorie du calcul mécanique », *Revue de l'Histoire de sciences* 36 (1983), 69-107 et, particulièrement, celle de Marie-José Durand-Richard, « Charles Babbage : de l'école algébrique anglaise à la "Machine analytique" », *Mathématiques, Informatique et Sciences humaines*, 118 (1992), 5-31.

(29) BABBAGE, *Economy of Machinery*, pp. 54, 250-1 ; Anthony HYMAN, *Charles Babbage : Pioneer of the Computer* (Oxford : Oxford University Press, 1982), p. 86 ; BUXTON, *Memoir of Babbage*, pp. 215, 111. A propos des commentaires de Babbage sur les honneurs se reporter à *The Exposition of 1851*, 2^e éd. (John Murray, Londres, 1851), pp. 220-49, et pour le recoupement bonapartiste à *Reflections on the Decline of Science in England* (Fellowes, Londres, 1830), pp. 25-27.

plus désormais une simple et élégante métaphore réformiste concoctée dans les salons des quartiers fortunés de Londres. Les machines calculatrices étaient elles-mêmes des produits du système de fabrication automatique dont Babbage cherchait la formule. Elles représentaient ses réussites les mieux connues et les plus visibles.

La visible industrie du « factory system »

Par rapport à l'intérêt que pouvaient leur porter les honnêtes gens, les machines calculatrices étaient en compétition avec les vastes déploiements d'automates et de mécaniques présentés dans les lieux d'exposition de Londres. Au début de l'année 1834, deux reproductions de la Machine des différences elle-même furent fabriquées par le concepteur de mécanismes Francis Watkins qui exerçait le métier d'électricien et de montreur de curiosités à l'Adelaide Gallery, la vitrine la plus importante de Londres pour tout ce qui concernait les nouvelles techniques. L'Adelaide Gallery contenait également un métier à tisser Jacquard, machine programmable souvent mentionnée lorsque l'on expliquait le principe des « nombres tissés » de la Machine analytique de Babbage. « Chez chacun de ses respectables dépositaires de modèles scientifiques, expliquait-on à des lecteurs londoniens dans un commentaire sur la Machine analytique, un tisserand est constamment à l'ouvrage sur une machine à tisser Jacquard et prêt à donner toute information désirée. » La formule ne manque pas d'ironie : le système Jacquard avait presque entièrement détruit la profession traditionnelle des tisserands auparavant caractéristique de la force de travail de Londres. L'exposition publique jetait un voile sur les effets de la mécanisation dans la vie quotidienne. C'est la raison pour laquelle, lorsqu'on

abandonna la construction de la Machine des différences, Babbage tint à ce qu'elle soit placée là où le public pouvait la voir ». On l'exposa dans le musée du King's College de Londres. Tout à côté, au musée de l'Amirauté, dans Somerset House, les visiteurs pouvaient admirer les célèbres appareils de fabrication de poulies de Henry Maudslay conçus pour les chantiers navals de Portsmouth. Ces systèmes techniques étaient présentés comme étant les plus remarquables réussites de l'industrie des machines-outils du début de l'ère victorienne (30).

Deux éléments saillants de ces présentations publiques comptaient beaucoup dans les projets personnels de Babbage. *Premièrement*, la systématisation de la production des machines-outils avait une forte charge politique. *Deuxièmement*, ce processus exigeait la réorganisation de l'ensemble de la production et de l'espace qui l'abritait. L'exemple le plus frappant était celui des chantiers navals de Portsmouth, tout premier site d'implantation du système des machines-outils. Entre 1795 et 1807, l'organisation de la production de poulies pour la Royal Navy fut entièrement révisée. Par tradition, cette production reposait auparavant sur des corps de métiers spécialisés dans le travail du bois et le fraisage, et fortement réfractaires à une surveillance et à un contrôle généralisés. Face aux revendications ouvrières, la force armée fut employée. Ainsi que des historiens comme Carolyn Cooper et Peter Linebaugh l'ont expliqué, le nouveau système d'organisation de la production détruisait chacune des caractéristiques du modèle antérieur pour les remplacer par d'autres. Les poulies furent standardisées, et estampillées afin d'éviter ce qu'on appelait à présent des « larcins ». Des mécaniciens standardisés remplacèrent les ouvriers qualifiés. Au bois, se substitua un appareillage tout en métal actionné à la vapeur, et les tâches artisanales distinctes perdirent leur sens au

(30) HYMAN, Babbage, p. 192 ; Carolyn COOPER, « The Portsmouth System of Manufacture », *Technology and Culture* 25 (1984), 182-225, p. 213. En ce qui concerne les reproductions de Watkins, se reporter à WATKINS à Babbage, 15 janvier 1834, British Library MSS ADD 37188 f.160. Pour les expositions de machines au début du XIXe siècle se reporter à Richard ALTICK, *The Shows of London* (Belknap, Cambridge, Mass, 1978), pp. 375-89. Pour la Machine analytique comparée au métier Jacquard, se reporter LOVELACE, « Sketch of the Analytical Engine », p. 706 ; pour les répercussions du métier à tisser Jacquard sur les tisserands, se reporter Dorothy George, *London Life in the Eighteenth Century* (Peregrine, Londres, 1966), p. 191.

milieu des presses et des tours mécaniques fonctionnels. Le système fut mis au point par Samuel Bentham, l'inspecteur des chantiers navals qui, avec son frère Jeremy, avait déjà, au début des années 1780, introduit un système de surveillance identique dans les schémas d'organisation russes. Ce système, qui concernait aussi bien le milieu carcéral que les entreprises, fut bien vite connu sous le nom de Panoptique. Les travaux d'équipement avaient été agencés par Marc Brunel et mis en œuvre par son proche allié Maudslay. Ce furent ces trois hommes qui présentèrent Clement à Babbage, et qui firent de son système d'inspection, de régulation, et d'organisation de la production l'exemple visible d'une gestion rationnelle (31).

Samuel Bentham et ses collègues firent du chantier naval de Portsmouth le site d'un « travail incessant », puis le transformèrent en attraction touristique. Selon l'équipe de Portsmouth, le dévoilement à tous les regards pouvait encourager de manière inestimable leur réforme industrielle. Bentham « considérait qu'il était de la plus haute importance, en vue d'accélérer la mise en œuvre généralisée d'un régime de mécanisation, que l'opinion publique soit prévenue en sa faveur, et que les chances d'y parvenir augmentaient avec l'exposition de machines bien agencées ». Aussi, à partir de l'année 1810, les personnes intéressées prirent l'habitude de se donner rendez-vous auprès des machines à fabriquer les poulies. Le nouveau système de répression technologique du chantier naval peut être pris comme l'exemple de l'émergence de la forme salariale et de l'astreinte du travailleur à la productivité. Dans le guide imprimé du chantier, on pouvait lire ce commentaire : « En entrant dans l'atelier des poulies, le spectateur est saisi par la multiplicité de mouvements qui s'y produisent et par la rapidité des opérations qui s'y déroulent » (32.). Le ton impersonnel

de la description est éloquent. Si l'on veut considérer l'univers automatique comme un système fiable de production de marchandises, il est important de rester aveugle à la culture ouvrière.

Les présentations à Londres de la Machine des différences et des tours de Portsmouth avaient pour objectifs de rapporter de l'argent et, en même temps, d'inculquer d'importantes leçons au plus grand nombre de personnes possibles. Les leçons de Babbage tournaient autour de la propriété privée des machines et, par conséquent, dans le jargon de sa science favorite, de la source de la valeur productive. Les droits de ouvriers sur l'ensemble de la valeur de leur travail furent à la base de la plupart des mouvements de protestation radicaux de ces années clés. Qui était en droit de « posséder » ces machines ? Quelle était la nature du travail qu'elles incorporaient ? Les journalistes réformistes étaient perpétuellement frappés par « la façon de débattre systématique qu'avait le peuple », tandis que le « peuple » lui-même protestait contre les campagnes visant « à faire de nous des outils, ou des machines ». Ces questions faisaient surgir le problème urgent de la propriété du savoir-faire incorporé dans les machines ouvertement destinées à fournir un travail intellectuel (33).

Les intérêts de la classe ouvrière faisaient appel à la tradition, laquelle voulait que le savoir-faire soit reconnu comme une propriété inhérente à la personne même du travailleur. Ce savoir-faire était considéré comme étant à peine transmissible en dehors d'un milieu soigneusement contrôlé, destiné à demeurer opaque aux regards des directeurs et des inspecteurs. Pour cette raison, les tentatives d'observateurs du type de Babbage, désireux d'acquérir une compréhension des machines et de la force de travail étaient politiquement sujettes à controverses. A l'opposé de ce

(31) COOPER, « Portsmouth System » ; Peter LINEBAUGH, « Technological Repression and the Origin of the Wage », *The London Hanged* (Penguin, Harmondsworth, 1991), chapitre 11. Tous mes remerciements à William ASHWORTH pour ses informations sur le rôle de Samuel Bentham.

(32) COOPER, « Portsmouth System », pp. 213-14 ; Peter LINEBAUGH, *London Hanged*, pp. 399-401.

(33) E.P. THOMPSON, *The Making of the English Working Class* (Penguin, Harmondsworth, 1968), pp. 889, 915 ; John RULE, *The Labouring Classes in Early Industrial England*, (Longman, London, 1986), pp. 357-63.

modèle traditionnel, les tenants de la mécanisation étaient favorables à des relevés rationnels, susceptibles de rendre le processus du travail transparent et les savoir-faire plutôt facilement identifiables sur le marché du travail salarié. Nous avons là les conflits du début du XIXe siècle anglais. Aujourd'hui, nous les associons de façon typique, suivant en cela E.P. Thompson, avec les campagnes politiques contre les Lois sur le blé et avec les émeutes en faveur de l'économie morale traditionnelle touchant les grains, alors que la rationalité économique combattait les formes d'échanges coutumières. Ou encore, nous emboîtons le pas à Michel Foucault pour relever les tactiques de Bentham visant à la surveillance des individus, dans les espaces bien éclairés du Panoptique. Les campagnes de Babbage en faveur de l'intelligence mécanique faisaient partie du même mouvement que ces stratégies plus familières, toutes visaient à la reconfiguration de l'ensemble productif au sein du « factory system » (34).

Le « factory system » fut pour la première fois présenté sous ce nom dans une puissante série de comptes-rendus journalistiques produits dans les années 1830 et 1840 parmi lesquels *La situation des classes laborieuses en Angleterre* (1845) de Friedrich Engels n'est que le plus connu tout en étant certainement l'un des plus intuitifs. L'ouvrage de Babbage sur l'économie politique et sur l'intelligence mécanique s'intégrait dans un genre de travaux qui étaient à la fois le résultat des visites dans les ateliers, dont la publicité fut convenablement orchestrée, en même temps qu'un *facteur de compréhension* du « factory system ». Maxine Berg souligne que « le "factory system" lui-même était un terme qui souvent cachait plus de

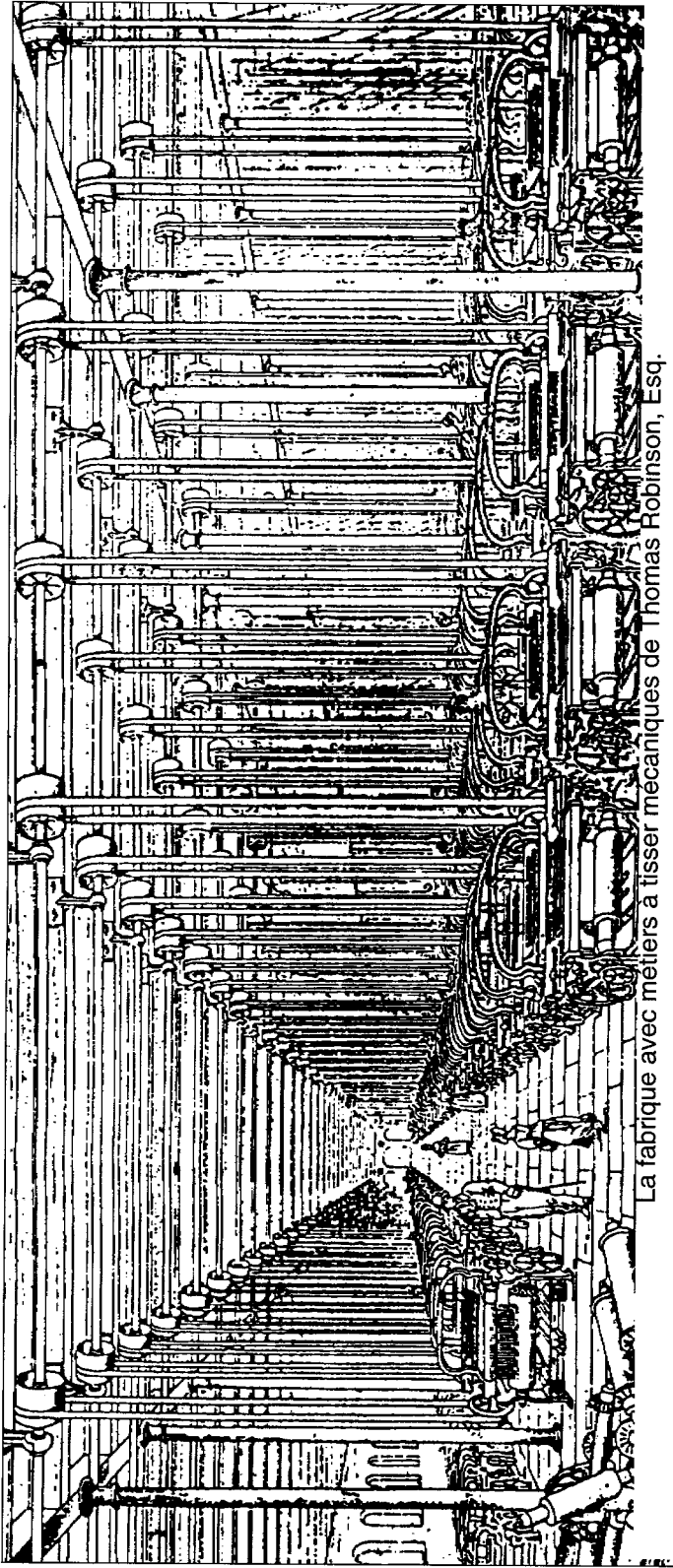
choses qu'il n'en révélait » (35). Les visites de Babbage n'étaient pas des exceptions. Son manuel s'intégrait parmi d'autres qui étaient fournis aux touristes des manufactures. Les autres textes représentatifs incluent *The philosophy of manufactures*, publié en 1835 par le chimiste conseil Andrew Ure chez le même éditeur que l'ouvrage de Babbage, et des comptes-rendus sur les fabriques du Lancashire présentés dans les années 1840 par le journaliste irlandais William Cooke Taylor. Dans ces guides des manufactures, qui bénéficièrent d'un bon lancement, l'accent portait sur le fait que, au sein des structures automatisées, les touristes pourraient contempler ces « admirables adaptations de l'habileté et de l'intelligence humaine » par lesquelles « nous imprimons à l'ère actuelle sa merveilleuse caractéristique, nommément le triomphe de l'esprit sur la matière » (36).

Ces compagnons littéraires étaient conçus comme un adroit mélange de journal de voyage et de guide touristique. Le lecteur recevait des instructions répétées sur la manière de se conduire lorsque l'on visite des districts industriels. Cooke Taylor était un propagandiste notoire du libre-échange et des intérêts industriels de Manchester et un ethnographe amateur, auteur d'un traité sur *L'histoire naturelle de la société* (1840), dans lequel la lutte des classes était expliquée en termes de méconnaissance mutuelle. Dans *Les manufactures et le factory system* de 1844, un ouvrage dédié à Robert Peel, premier ministre tory qui n'acceptait le libre-échange qu'à contrecœur, Cooke Taylor notait le contraste existant entre des aperçus hâtifs sur la sublimité de l'industrie et une méditation philosophique prenant en compte les avantages systématiques de la

(34) E.P. THOMPSON, « The Moral Economy of the English Crowd », *Past and Present* 38 (1967) et THOMPSON, *Customs in Common* (Merlin, Londres, 1991), chapitres 4 et 5 ; Michel FOUCAULT, *Surveiller et punir* (Gallimard, Paris, 1975), troisième partie et FOUCAULT (avec M. PERROT et J.P. BAROU), « L'oeil du pouvoir », dans J. BENTHAM, *Le Panoptique* (Belfond, Paris 1977). Pour le savoir-faire traditionnel se reporter à John RULE, « The Property of Skill in the Period of Manufacture », dans Patrick Joyce éd., *The Historical Meanings of Work* (Cambridge : Cambridge University Press, 1987), 99-118.

(35) Maxine BERG, *The Age of Manufactures 1700-1820* (Fontana, Londres 1985), p. 229. Pour les touristes dans les manufactures se reporter à Stephen MARCUS, *Engels, Manchester and the Working Class* (Norton, New York, 1985), pp. 30-66 ; et à Francis KLINGENDER, *Art and the Industrial Revolution* (Paladin, Frogmore, 1972), pp. 109-117.

(36) *Manchester as it is* (Love and Barton, Manchester 1839), p. 217.



La fabrique avec métiers à tisser mécaniques de Thomas Robinson, Esq.

manufacture. « La prévalence de nombreuses notions erronées concernant les effets de la mécanisation n'est pas surprenante ; le touriste visitant pour la première fois un district industriel ne peut s'empêcher de contempler avec émerveillement, et même avec certains sentiments de peur involontaire... la puissante machine à vapeur remplissant ses fonctions avec une régularité monotone non moins impressionnante que l'énorme force qu'elle met en action. Suivant sa première réaction, le feu et l'eau – proverbiallement les meilleurs serviteurs et les plus mauvais maîtres – ont établi ici leur domination despotique sur l'homme, et la matière s'est taillé un empire incontestable au dépens de l'esprit. » De tels malentendus qui, selon Cooke Taylor, avaient nourris de malheureuses actions évangélisatrices tendant à limiter et à contrôler les conditions existantes dans les fabriques, ne pourraient être corrigés que par « du temps et de la patience, une observation répétée et une calme réflexion ». Le regard philosophique discernera alors que « le géant, la vapeur, n'est pas le tyran mais l'esclave des ouvriers, non leur rival mais leur compagnon de labeur, employé comme homme de peine pour faire tout le travail pénible, en ne leur laissant que les opérations les plus légères et les plus délicates ». A travers la magie de Taylor, la puissance de la vapeur se transformait en un fétiche du travail humain et le travail humain devenait une forme de loisir délicat (37).

Ces modifications finement ciselées étaient martelées sur place dans les guides touristiques édités dans les années 1830 et 1840. Un manuel paru en 1839 et destiné aux visiteurs de Manchester, la « Métropole des manufactures », conseillait à tous les touristes de commencer par lire soigneusement *Ure* pour s'obtenir des lettres d'introduction pour les ateliers dirigés par Fairbairn et Nasmyth, bastions d'une pro-

duction massive d'industries lourdes et lieux d'un vaste déploiement de machines-outils. Plus peut-être que dans aucune des autres centaines d'entreprises qui, dans cette cité, utilisaient des machines, le parcours pédestre à travers l'usine sidérurgique de Fairbarn ou le voyage dans le train, spécialement conçu à cet effet, de la fonderie Bridgewater de Nasmyth, « un plaisir gratifiant », procureraient un sentiment d'émerveillement justifié en même temps que la compréhension du mécanisme régulateur. « Il faut que le visiteur se déplace dans les ateliers, et quelles que soient ses idées par rapport à leurs fumées, à leur vapeur et à leur poussière, il se verra contraint, face à leur aspect prodigieux, à s'abandonner à des sentiments d'émerveillement. »

Mais, comme Cooke Taylor le soulignait également, au cours des époques troublées, ces sentiments devaient immédiatement être tempérés par la conscience de l'ordre habituel. La fonderie Bridgewater, par exemple, fut créée en 1836. Très peu de temps après se déclaraient des grèves très importantes des mécaniciens du Lancashire, qui protestaient contre l'âpreté des taux de salaires et contre l'abolition du système d'apprentissage. A Manchester, à partir de l'été 1838, les manifestations chartistes réclamant l'affranchissement de la classe ouvrière rassemblaient plus de cinquante mille marcheurs. Par contraste, le touriste idéal voudra contempler le débit de production « rectiligne » de Nasmyth et l'application à grande échelle des machines-outils fonctionnant par elles-mêmes. Dans les ateliers de Fairbairn « quelle que soit la direction vers laquelle on se tourne, il existe une prévalence d'un système supérieurement élaboré, et chaque machine se voit assigner un type particulier de travail dans une subdivision du travail économique à l'extrême » (38).

Ce triomphe devint immédiatement une

(37) William Cooke Taylor, *Factories and the Factory System* (Jeremiah How, Londres, 1844), p. 11. Pour ses idées en matière d'ethnographie se reporter à Christopher HERBERT, *Culture and Anatomy: Ethnographic Imagination in the Nineteenth Century* (Chicago: University of Chicago Press, 1991), pp. 61-64.

(38) *Manchester as it is*, pp. 201-2, 210. Pour Nasmyth et les grèves, se reporter à NASMYTH, *Autobiography*, pp. 222-8. Pour Manchester et les machines-outils se reporter A.E. MUSSON, « Joseph Whitworth and the Growth of Mass-production Engineering », *Business History* 17 (1975), 109-49, p. 113. Pour les manifestations chartistes, se reporter à Dorothy THOMPSON, *The Chartists* (Wildwood House, Aldershot, 1984), ch. 3.

reconnaissance du système des machines-outils et, par là, du pouvoir de l'intelligence humaine sur la matière, et une reconnaissance de la discipline du travail et, par là, du pouvoir de ses maîtres sur la force de travail. Ure soulignait la relation existant entre « le programme automatique » et « l'équilibre du labeur ». « Le grand objectif du fabricant moderne est, par conséquent, de réduire, à travers l'union du capital et de la science, la tâche de son personnel à l'exercice de la vigilance et de la dextérité. » C'est précisément pour cette raison que, dans les visites qu'il proposait, Ure considérait la fabrique comme une sorte de laboratoire, le site potentiel d'une utopie, dénué de conflits et appliquant toutes les possibilités de la science. Dans un tel lieu l'industriel devenait purement et simplement un scientifique. « La science de la manufacture » fut dès le début un moyen de contrôle sur le travail et un objet d'étude de la physique thermique : « Il vaut mieux étudier une semaine sur place dans le Lancashire plutôt que toute une année dans n'importe quelle université d'Europe. »

Le guide de Manchester expliquait que le principe d'action autonome appliqué aux commandes des tours mécaniques « était ce qui permettait à un enfant ou à la machine elle-même de manœuvrer des masses de métal ou de couper les rognures de fer, comme si elles étaient dépourvues de la moindre solidité, et cela avec une précision mathématique tellement fine qu'Euclide lui-même pourrait être l'exécutant ! » Les guides touristiques étaient d'accord pour dire que, dans le même temps, la précision répondait à des revendications de la main-d'œuvre et contrebalançait son opposition. « Les fréquentes et insupportables tracasseries auxquelles les ingénieurs se sont heurtés de la part des syndicats » ont produit « ces admirables inventions qui permettent aux mécaniciens de réaliser de telles merveilles en triomphant de la résistance du monde de

la matière » (39). Dans ses descriptions de cette résistance, la littérature du tourisme industriel développait une série de thèmes caractéristiques. La façon correcte de comprendre le pouvoir apparemment irrésistible de l'usine consistait à y déceler la discipline de la main-d'œuvre dans un système de division et de coordination. En dépit de la résistance prolétarienne, ce régime produisait une précision géométrique à partir de simples aptitudes manuelles.

Dans un tel contexte, Babbage, qui cherchait à doter ses machines de la capacité de produire mécaniquement des données fiables, ne pouvait que se présenter comme l'unique auteur des machines calculatrices et de l'enquête sur les manufactures. A ces yeux, elles *incluaient* sa maîtrise sur la mécanique et *excluaient* les savoir-faire, comme elles camouflaient la force de travail, dont elles dépendaient. Elles transformaient la machine en fétiche. Les vues de Babbage sur la propriété du savoir-faire incorporé dans les machines calculatrices sont expliquées dans un mémoire concernant leur avenir adressé à la fin 1834 au Premier Ministre, le duc de Wellington. « Mon droit de disposer de telles inventions, selon mon bon vouloir, ne peut pas être contesté ; il est de nature plus sacrée qu'aucune propriété héritée ou acquise, car ces inventions sont des créations absolues de mon propre esprit » (40). Cette remarquable déclaration suivait une décennie de bagarres avec Clement, le brillant ingénieur (oublié dans ce texte de manière caractéristique), sur le travail duquel une grande partie de la mise au point de la machine s'était appuyée. Lorsque le modèle fut inauguré, Babbage eut à déterminer si la conception se présentait « sous une forme telle que son exécution (serait) hors de portée d'un travailleur très habile ». Cela, à son tour, lui suggéra l'examen immédiat et « détaillé des machines en tous genres ». Des conflits endémiques servaient de cadre aux exigences de Bab-

(39) Andrew URE, *The Philosophy of Manufactures* (Charles Knight, Londres, 1835), pp. 20-21,25 ; *Manchester as it is*, pp. 217, 32-33. D'autres données de ce type sont dans Maxine BERG, éd., *Technology and Toil in Nineteenth Century Britain* (CSE Books, Londres, 1979), esp. p. 159.

(40) BABBAGE à Wellington, 23 décembre 1834, British Library MSS ADD 40611 f.181.

bage d'après lesquelles la force de travail devait se soumettre à son mode d'emploi détaillé des machines calculatrices, lui obéir servilement, ce qui lui octroyait tous les fruits du travail ainsi accompli (41).

Les spécifications de Babbage introduisaient des contraintes sans précédent quant aux capacités des ateliers de machines-outils et transformèrent rapidement ceux-ci en sites révolutionnaires d'innovation et de formation. Pour le premier appareil, il demanda au minimum six roues d'engrenage coaxiales façonnées avec une extraordinaire précision, tandis que le système d'impression requérait à son tour un autre ensemble d'engrenages d'enclenchement gravés de lettres et de chiffres. Un compte-rendu rédigé en 1829, à l'intention de la Royal Society, par les plus proches alliés de Babbage, Herschel compris, reconnaissaient que « dans toutes les parties de la machine où la précision la plus fine est requise, l'engrenage n'amène les chiffres que par une première approximation (encore que très fine) à leur place de destination, où ils subissent ensuite un ajustement rigoureux par des combinaisons particulières qui n'admettent pas la moindre secousse ou latitude d'aucune sorte » (42). Ces remarques plutôt affables des gentlemen de la science comportent quelques termes gênants, comme les références à une précision fine, à un ajustement rigoureux, et à des secousses et des latitudes. Ce qui, aux yeux d'un scientifique, semble relever de l'irrationnel, représentait l'un des aspects clés de la culture habituelle de l'atelier en voie d'industrialisation. L'ingénieur de Manchester William Fairbairn se souvenait que « l'installateur de moulins des temps passés était dans une large mesure le seul représentant de l'art mécanique ». Mais, suivant un enchaînement rapide, dans des secteurs comme celui de l'horlogerie, des tourneurs des motifs ornementaux et, surtout, dans celui des presses hydrauliques et des machines à filer, des maîtres comme Joseph Bramah

et son chef de travaux Maudslay commencèrent à inventer des tours à limer fonctionnant tout seuls et permettant la production de plans précis, de serrures fiables et de supports de glissières contrôlant le travail sur le mandrin. Leur réseau d'usines de machines-outils acquit une position dominante dans l'enseignement et la régulation de la mécanique de précision. Maudslay créa sa propre usine londonienne à Lambeth en 1797, et des employés de cette usine suivirent l'exemple : Richard Roberts en 1814 à Manchester, James Nasmyth, engagé par Maudslay en 1829 avant de s'installer à Manchester en 1836, et Joseph Whitworth, qui commença par travailler pour Maudslay au début de l'année 1825, avant d'établir une entreprise à Manchester en 1833. La carrière de ces différents hommes était suivie à la trace et créditée d'un sens moral par Samuel Smiles, chroniqueur infatigable du perfectionnement personnel et des réussites techniques (43).

Clement était l'un des héros de Smiles en même temps qu'un vétérinaire du système. Fils d'un tisseur de laine, métier qui souffrit le plus cruellement de l'accélération de la mécanisation, Clement travailla comme tourneur avant d'acquérir une formation auprès de Bramah et Maudslay dans les années 1810. En 1817, il s'installait à Southwark, près de Maudslay et du centre commercial de la fabrication mécanique, et, peu de temps après, proposa une nouvelle forme de support de glissière destiné à rendre le travail au tour régulier et contrôlable. Mais ses activités demeuraient encore artisanales. Quand, en 1823, Babbage fit appel à lui, sur la recommandation de l'éminent ingénieur Marc Brunel, un seul de ses tours était monté et encore dans sa propre cuisine. A mesure que, grâce au projet de la machine calculatrice, l'argent rentrait, l'entreprise de Clement prit une extension inconnue dans la profession, du point de vue du nombre d'employés aussi bien que de celui des machines-outils en

(41) BABBAGE, « The science of number reduced to mechanism » dans Buxton, *Memoir of Babbage*, p. 65.

(42) BUXTON, *Memoir of Babbage*, p. 86.

(43) William FAIRBAIRN, *Treatise on Mills and Machines* (Londres, 1861), p. V ; Samuel SMILES, *Industrial Biography : Iron Workers and Tool Makers* (Londres, 1863). *The Life of Clement* constitue le chapitre 3.

exclusivité. Jusqu'à un tiers de son affaire reposait pourtant sur le projet de la Machine des différences. Il engagea Whitworth pour travailler à sa conception. Le *Manchester City News* notait que « Mr. Clement inventa et fabriqua de nombreux outils pour façonner les différents éléments de cette machine (calculatrice) formant dans le même temps des ouvriers tout spécialement aptes à les manipuler et à les guider... Mr. Withworth possédait une aptitude particulière à une minutieuse précision des détails du travail mécanique, qui devait nécessairement constituer une marque distinctive des travailleurs retenus pour la machine de Babbage » (44).

Ces ateliers étaient destinés à former des apprentis capables de fournir un travail précis, régulier et reproductible, en utilisant des outils automatiques et hautement standardisés. Un ingénieur, qui avait travaillé dans le Lancashire au cours des années 1840 racontait que « les hommes appartenant aux grands ateliers n'avaient pas à se préoccuper de différents travaux mais seulement d'un seul type d'activité et des outils s'y rattachant. Ces hommes devinrent bientôt très habiles et leur rendement, très bon, tandis que la qualité de leur production avait la précision voulue, sans qu'ils aient besoin d'y consacrer même une partie de l'attention requise chez ceux qui, travaillant dans de petits ateliers, étaient continuellement confrontés à de nouvelles tâches à effectuer avec les mêmes vieux outils ». Cependant, ainsi que les commentaires de Whitworth le révèlent, les ateliers étaient également des lieux très fermés, exigeant des aptitudes de spécialistes que des jugements routiniers attribuaient aux qualités personnelles de quelques individus privilégiés. Nasmyth rappelait le rôle décisif que son dessin d'une machine à vapeur à haute pression avait joué lorsqu'il s'était agi d'obtenir un emploi dans l'atelier de Maudslay : « Connaître le dessin de la mécanique constitue l'ABC de l'ingénieur. Dépourvu

de cette connaissance, le travailleur est tout juste un manœuvre, lorsqu'il la possède, il prouve qu'il a aussi une tête. » Ces enchevêtrements locaux de production standardisée et de savoir-faire individualisé n'apparaissaient pas vraiment dans les campagnes de Babbage en faveur de la mécanisation et de la quantification de la valeur du travail mental et du travail manuel (45).

Deux problèmes délicats revenaient en permanence dans la définition du travail des machines calculatrices. Premièrement, il était vital pour la conduite du projet de déterminer la *place du savoir-faire* et la distance sociale et cognitive entre les concepteurs, les mécaniciens et les dessinateurs industriels. Lorsque Babbage partit faire une tournée en Europe, en 1828, il laissa à Clement un nombre qu'il jugeait « suffisant de dessins pour permettre à ses collaborateurs d'avancer pendant son absence la construction de la Machine des différences ». Mais ce genre d'instructions sur papier se révéla très vite désespérément inadéquat. Deux ans plus tard, à son retour, Babbage exigea que le site de construction de la machine passe des ateliers de Clement, de l'autre côté du fleuve, à sa propre maison dans Dorset Street. Brunel, obligeamment, suggéra un site de compromis au British Museum. Quand le gouvernement finança un nouvel atelier, tout près de Dorset Street, Clement demanda un large dédommagement financier pour couvrir les dépenses résultant du partage de sa main-d'œuvre entre deux sites. Les financiers refusèrent et Clement renvoya la plupart de ses hommes. Jarvis, ex-dessinateur de Clement et futur concepteur-associé de la Machine analytique, expliqua à Babbage les raisons pour lesquelles il était important que le travail progresse « sous votre contrôle direct ». « Ainsi, on pourra avoir immédiatement recours à vous chaque fois que l'on aura beaucoup de mal à se rapprocher de l'effet (désiré) – ce qui est le cas le plus fréquent

(44) K.R. GILBERT, « Machine-Tools », dans C. Singer et al., éd. *History of Technology*, volume 4 (Clarendon, Oxford, 1958), 417-41 ; MUSSON, « Whitworth and the Growth of Mass Production Engineering », p. 115.

(45) « Autobiography of Thomas Wood », dans John Burnett, éd., *Useful Toil : Autobiography of Working People* (Penguin, Harmondsworth, 1984), p. 310 ; Nasmyth, *Autobiography*, p. 125.

en mécanique ». Cette leçon nous est connue. La production et la reproduction de savoir-faire et de technologies des matériaux nécessite une interaction intense et immédiate dans des espaces spécialement conçus à cet effet. Mais de telles idées violaient les conventions régissant l'exercice du métier de mécanicien. Dans l'entreprise de Maudslay, une grande porte fermée protégeait « son bel atelier privé » où « de nombreuses reliques des premières incarnations de son génie créateur, soigneusement conservées », étaient accrochées. « Elles étaient conservées comme des souvenirs de sa progression vers la perfection mécanique. » Ce genre de reliquaire était grandement protégé contre les intrusions aussi bien des clients que des patrons. Clement, par exemple, refusa toujours d'établir des factures pour son travail et ses outils « parce qu'il n'est pas dans la tradition des ingénieurs de procéder ainsi » (46).

Le second problème, décisif dans le cas du modèle de la machine, était par conséquent la question de la *propriété* et de la reconnaissance publique. Traditionnellement les coûts d'un travail incombaient à l'ingénieur, tandis que ses outils, dans ce cas les tours, les rabots et les étaux, étaient toujours sa propriété. C'est pourquoi la question de savoir si la Machine des différences était elle-même un outil fut soulevée. A partir de 1829, Babbage et Clement furent en conflit à propos de la propriété et des prix. Clement désigna Maudslay et Babbage désigna Bryan Donkin, concepteur de machines pour les poids et mesures nationaux, pour arbitrer le conflit. Dès le départ, Clement invoqua les coutumes de sa profession : tous les outils, en particulier les nouveaux tours autonomes, lui appartenaient en exclusivité et il insista sur son droit à continuer la fabrication de machines calculatrices sans la permission de

Babbage. Une nouvelle fois, Jarvis expliqua le raisonnement au mathématicien en furie :

« Il faut garder à l'esprit que l'inventeur de la machine et son constructeur poursuivent deux buts différents. L'objectif du premier est de rendre la machine aussi parfaite que possible. L'objectif du second – et nous n'avons pas le droit de nous attendre à ce qu'un autre sentiment l'influence – est de gagner autant d'argent que possible en la construisant, et, pour cela, il a intérêt à la rendre aussi compliquée qu'il est faisable » (47).

La solution, caractéristique de Babbage, que celui-ci proposa, fut la nationalisation de la machine, des outils et des dessins. Il poursuivait ce qu'il estimait être la logique pratique d'une grande partie de l'industrie des machines-outils. Il fut obligé d'expliquer en quoi une conception rationnellement conduite pouvait avoir l'apparence d'un désordre coûteux. Au cours de l'été 1834, il exposa à Wellington en quoi le passage de la conception d'une Machine des différences à celle d'une Machine analytique appartenait à cette rationalité. « Le fait de remplacer une vieille machine par une nouvelle au bout de très peu d'années est un fait qui se produit constamment dans nos manufactures... Des machines à moitié construites ont été jetées parce que devenues inutiles avant même d'être terminées. » Cela ne consolait qu'à peine l'administration et n'était pas engageant vis-à-vis des méthodes des ateliers de machines, où le savoir-faire personnel, et par conséquent la propriété individuelle, étaient mis en jeu lors de chaque « amélioration » de conception ou de présentation. Une fois la machine nationalisée et transportée dans l'atelier personnel de Babbage, il fut proposé que Jarvis y travaille tout en restant sous la direction de Clement. Clement refusa l'arrangement parce que « mes

(46) BUXTON, *Memoir of Babbage*, pp. 81-2, 97 ; HYMAN, *Babbage*, pp. 125, 130-2 ; NASMYTH, *Autobiography*, p. 130. Pour le déménagement en direction de Dorset Street, se reporter à BABBAGE à Clement, 18 mai 1832, British Library MSS ADD 37186 f.400. Pour le refus de Clement de rédiger des factures, se reporter à CLEMENT à Babbage, 18 novembre 1829, British Library MSS ADD 37184 f.419.

(47) HYMAN, *Babbage*, pp. 124, 128, et JARVIS à Babbage, février 1831, British Library MSS ADD 37185 f.419. La meilleure étude sur le conflit avec Clement est celle de William GINN dans *Philosophers and Artisans : the relationship between men of science and instrument makers in London 1820-1860* (PhD thesis, Kent, 1991), pp. 157-69.

plans pourraient être suivis sans que j'y gagne quoique ce soit », et Jarvis refusa également par crainte de devoir endosser la responsabilité du moindre échec « parce qu'étant nécessairement plus au courant des détails, tandis que toutes les louanges dues à la perfection du travail iraient à Mr Clement qui passerait de temps en temps et n'accepterait mes plans que lorsqu'il ne pourrait par leur en substituer d'autres de son cru ». Ce mécanicien refusait de se rendre « complice de son propre avilissement ». Là où Babbage et ses alliés de la Royal Society voyaient une gestion rationnelle, les ingénieurs discernaient souvent une atteinte à leurs droits et à leurs compétences (48).

Mais, tandis que les premiers projets de Babbage s'effondraient sous le poids de ces mises en question, sa campagne en faveur du calcul automatique réussissait à retenir l'attention des chefs d'entreprises de mécanique prônant le nouveau système... Les éléments de compréhension qu'il avait réunis pour son ouvrage sur les manufactures comportaient deux importantes leçons à propos des taux des salaires et des modèles de savoir-faire. Les ingénieurs en chef étaient prêts à valoriser la machine calculatrice en élevant les salaires des ouvriers qui avaient été concernés par le projet et ils se trouvaient acculés à la conception de systèmes de plus en plus automatisés qui allaient jeter bas certaines catégories de métiers et permettre l'emploi croissant d'une main-d'œuvre à bon marché et de travailleurs subalternes. Dans une note révélatrice adjointe à sa correspondance avec Wellington, Babbage signalait : « J'ai été informé par des hommes, qui sont à présent disséminés dans nos zones industrielles, que, pour avoir travaillé sur ma machine, tous touchent de meilleurs salaires que leurs compagnons. » La source de Babbage se trouvait être Richard Wright qu'il avait commencé à employer comme valet au cours de sa tournée européenne en 1828. Cinq ans plus tard, Wright s'était établi

comme ingénieur dans Lambeth Road, tout près de Maudslay. Armé des indications de l'auteur, il était parti faire le tour des ateliers du Nord dans le but de recueillir des informations pour le livre de Babbage. A l'été 1834, il s'était installé à Manchester afin de travailler pour Whitworth qui, l'année précédente, après s'être dégagé du projet de la Machine des différences, avait ouvert là sa propre manufacture. « Il fait construire une fabrique aussi grosse que n'importe quelle autre à Manchester », avait raconté Wright à Babbage.

A l'époque, la lutte entre les traditions des corporations et les techniques de production novatrices faisait rage. Selon un visiteur américain de la fabrique de Whitworth, en raison de la subordination de la force de travail et de l'utilisation croissante de machines autonomes, « à son poste de travail, personne n'osait penser ». Ainsi donc, Wright entreprit de se transformer pour s'accorder au schéma de la machine de Babbage. Il suivit des cours à l'institut de mécanique local et à l'académie de dessin. Il raconta à Babbage que « ici, on parle beaucoup de la Machine (calculatrice), au point qu'un homme qui a travaillé dessus a davantage de chances d'avoir le meilleur travail, et je suis fier de dire que mon salaire dépasse celui de tout autre travailleur de la fabrique ». Wright se proposa à Babbage en tant qu'éventuel maître-ingénieur. « Je serais heureux de vous convaincre que je suis capable de remplir cet emploi en vous présentant un modèle... ou en réalisant n'importe quel pièce difficile de la Machine, soit dans sa partie calculatrice, soit dans sa partie imprimante. » Au cours de la deuxième moitié des années 1830, Wright vagabonda d'un bout à l'autre du « factory system ». En 1835, par exemple, il alla à pied de Londres au Yorkshire, où il enquêta sur les fabriques et les mines, et de là partit en Ecosse, en Ulster et dans le Lancashire. Tout en se plaignant du fait que « les habitudes et les conversations d'une fabrique sont vraiment dégoûtantes pour un esprit

(48) Babbage à Wellington, juillet 1834, dans BUXTON, *Memoir of Babbage*, p. 104 ; Jarvis et Clement à Babbage, dans HYMAN, *Babbage*, pp. 131-2.

qui réfléchit », à la fin de la décennie il avait mis sur pied sa propre entreprise à Manchester, où « j'ai l'intention de n'employer que les meilleurs travailleurs et le meilleur matériel » et, à partir du début des années 1840, on le consultait activement pour le projet de la Machine analytique. S'étant par lui-même transformé en « esprit qui réfléchit », Wright devint l'idéal de Babbage, un paragon du même type que ceux de Smiles, qui voyait dans une administration rationnelle et dans l'application scrupuleuse de la division du travail la clé de la réussite des machines calculatrices. Dans une épître interminable, Wright expliquait à Babbage comment le nouveau système devait fonctionner et comment la direction devait gérer les savoir-faire de la force de travail :

« L'homme de confiance choisi pour l'atelier doit être un bon travailleur en général aussi bien au tour qu'à l'établi, car un homme de ce type sera capable de distinguer à la manière dont un homme commence un travail s'il est capable de le terminer en professionnel ou non. Peut-être n'êtes-vous pas tout à fait au courant, mais chez Mr. Clement et dans beaucoup d'autres fabriques, le travail est décomposé en branches Tour et Etabli, et dans la plupart des cas la personne qui travaille dans l'une ignore presque entièrement ce qui se passe dans l'autre... Par-dessus tout, le responsable doit avoir étudié le caractère des ouvriers afin de protéger l'atelier contre les discordes, les désordres et les causes des échecs répétés d'un si grand nombre de nouvelles mécaniques, car je suis sûr que le gaspillage du travail et la mauvaise gestion entraînent davantage d'échecs que les mauvais croquis ou toute autre cause » (49).

La voix de Wright était cette voix anonyme, citée dans les pages de l'*Economy of Machinery* de Babbage, et que le texte contribuait à rendre représentative des mé-

tiers en rapport avec le système automatique des machines-outils. Dans la philosophie de la manufacture, on attachait un grand prix au savoir-faire fortement individualisé des maîtres-ingénieurs. Dans ses notes du voyage d'enquête sur les machines, Babbage indiquait que « les causes d'échecs » devaient être recherchées en consultant « un homme de science au sujet du principe » et un « ingénieur pratique au sujet des difficultés mécaniques ». La dextérité manuelle était reconnue et célébrée comme demeurant un attribut principal du « travailleur habile ». Babbage estimait que « la première nécessité » pour sa Machine des différences était de « préserver la vie de Mr. Clement... Il serait extrêmement difficile, sinon impossible, de trouver une autre personne ayant autant de talent à la fois comme dessinateur et comme mécanicien ». Les maîtres des machines devinrent des héros. Selon Nasmyth « par un petit nombre de coups magistraux Maudslay pouvait produire des surfaces planes, tellement exactes que lorsque leur précision était testée auprès d'une surface plane standard d'une fidélité absolue, on ne relevait jamais aucun défaut ». Dans le même temps, la « fidélité absolue » était de plus en plus investie dans les équipements d'outils standardisés des ateliers de machines. Sans doute est-ce pour cette raison que les échelles et outils qui faisaient autorité devenaient si souvent l'objet d'une fétichisation. L'échelle de l'établi de Maudslay était « appelée avec humour... le lord-chancelier », tandis que Nasmyth et ses collègues se vantaient de la « progéniture de descendants légitimes » qu'ils avaient produite (50).

A Londres, Lancashire, Clydeside et ailleurs, les systèmes que ces hommes contribuèrent à forger dessinaient un réseau de sites où les nouvelles méthodes gestionnaires et techniques dépendaient tout autant d'une régulation acharnée des

(49) WRIGHT à Babbage, 18 juin 1834 et 13 juin 1839, British Library MSS ADD 37188 f.390 et 37191 ff.99-100 ; à comparer avec HYMAN, *Babbage*, pp. 66, 107.

(50) BABBAGE, « Notes for Economy of Manufacture », University Library Cambridge MSS ADD 8705.25 p. 10 ; BABBAGE, « Report on the Calculating Machine », 1830, British Library MSS ADD 37185 f.264 ; NASMYTH, « Autobiography », pp. 148-9, 179. À comparer avec GINN, *Philosophers and Artisans*, p. 167 pour le caractère unique du savoir-faire de l'artisan.

opérations laborieuses que du développement de nouvelles machines automatiques. L'essor des machines de matières textiles métalliques toutes faites, par exemple, fut un des résultats de ces systèmes. Au cours du processus, les traditions des corporations furent bouleversées et standardisées et une production précise garantie (51). Les directeurs des ateliers de pointe devinrent finalement les plus proches alliés de Babbage et des sources de renseignements et d'appuis. Dans son *Economy of machinery*, Babbage faisait grand cas des moyens par lesquels le tour garantirait la « permanence » et la « précision » et, ensuite, portait au crédit de cette précision principalement une économie de temps, vu qu'« il serait dans les possibilités d'un travailleur très habile, muni de limes et de substances de polissage », de produire une surface parfaite.

Considéré ainsi le savoir-faire artisanal pouvait être converti en un équivalent salarial. En 1847, Babbage collabora, sous forme d'un développement de sa théorie portant sur le travail au tour et le tournage sur métaux, au manuel définitif édité par Charles Hotzapffel, doyen des concepteurs de tours spécialisés. Ensuite, Hotzapffel apporta sa contribution en décrivant lui-même, longuement, les outils imaginés par Babbage pour le projet de la machine. Au cours de la décennie suivante, aussi bien Whitworth que Nasmyth offrirent leur aide à Babbage pour l'achèvement de la Machine analytique et témoignèrent publiquement des bénéfices qu'ils avaient retirés, dans leurs propres métiers, des machines calculatrices. Un ami de Babbage, le mathématicien dissident Augustus de Morgan, résuma brillamment le rapport entre le tour, emblème de l'habileté automatique, et Babbage, maître de l'analyse mécanique, dans un croquis le représentant près de ce tour, armé seulement d'une sé-

rie de fonctions logarithmiques (voir dessin). Sur cette image, les équipes qui assistèrent Babbage et les qualités des ateliers dont il dépendait sont invisibles. L'analyse mathématique est à présent identifiée à la machine automatique et à son maître (52).

Conclusion : la fabrication et la démonstration publique des nombres fiables

En dépit de ces images de maîtrise et de mécanisation, les machines de Babbage ne furent jamais utilisées pour composer les tables numériques auxquelles elles étaient destinées. En ce sens, elles fournissent une parabole des difficultés du marché de la science. Michel Callon nous met en garde contre les analogies économiques appliquées aux processus des sciences, lesquelles, bien que séduisantes, « sont en réalité plus dangereuses qu'utiles, parce qu'elles aboutissent à un blocage de la seule question qui importe : par quel moyen la recherche parvient-elle donc à créer d'un seul et même mouvement à la fois de nouveaux produits et la demande qui leur est associée ? » (53). Le modèle de Babbage contribua à produire un besoin auquel il ne répondit pas. Son principal impact sur les secteurs conflictuels de l'organisation scientifique et des mesures de précision de l'époque victorienne se limita à la production de ce besoin. Dans la culture scientifique victorienne, la demande était souvent sollicitée par des expositions publiques, puis analysée en termes de morale et de discipline. L'historien Michael Lindgren a récemment montré que la publicité faite par Lardner dans les années 1830 autour des schémas de Babbage suggéra très vite aux ingénieurs suédois Georg et Edvard Scheutz la construction d'une série de machines des différences, qu'ils achevèrent dans les années 1850. La pré-

(51) John FOSTER, *Class Struggle and the Industrial Revolution* (Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1974), pp. 224-5 ; Ian INKSTER, *Science and Technology in History* (Macmillan, Londres, 1991), pp. 82-83.

(52) BABBAGE, *Economy of Machinery*, p. 67 ; Charles HOTZAPFFEL, *Turning and Mechanical Manipulation*, 5 vol (Londres, 1843-1884), 2 : 984-91 ; NASMYTH à Babbage, 22 juin 1855, et BABBAGE à Whitworth, juillet 1855, British Library MSS ADD ff.249, 366. Le croquis se trouve dans DE MORGAN à Babbage, 21 octobre 1839, British Library MSS ADD 37191 f.256.

(53) Michel CALLON, « Introduction » dans Callon, éd., *La Science et ses réseaux* (La Découverte, Paris, 1989), p. 14 n.2.

sentation de ces engins au public, sous la forme de marchandises, fut décisive. Bryan Donkin, collaborateur de jadis de Babbage, apporta la machine des Scheutz à Londres en 1854, la montra à la Royal Society, et finalement persuada le Bureau général des enregistrements d'utiliser une machine de cette sorte pour établir ses tables de mortalité. Une autre version fut présentée à l'Exposition universelle de 1855 à Paris, exposition que Babbage décrit comme étant « plus remarquable que toutes les précédentes par le nombre et l'ingéniosité des machines qui accomplissaient des opérations arithmétiques ». De Paris, la machine des Scheutz fut expédiée vers l'observatoire de Dudley, dans l'Etat de New York, pour servir au calcul de tables astronomiques. Elle se retrouva finalement au musée de Chicago, et sa reproduction monumentale, conçue par Barnard Grant, fut présentée à l'exposition centennale de Philadelphie.

Babbage était, lui-même, obsédé par la place (ou l'absence de place) que tenaient ses machines dans les expositions londonniennes successives. Il estimait qu'elles avaient été délibérément exclues du Crystal Palace en 1851. Et, même lorsque la Machine des différences quitta le musée du King's College pour être montrée à l'Exposition universelle de 1862, elle fut « placée dans un petit trou dans un sombre recoin où elle ne pouvait être vue, et encore difficilement, que par six personnes à la fois » (54). Ces expositions, dans un même mouvement, transformaient les machines en marchandises et fournissaient un miroir où la division disciplinaire et industrielle du travail se projetait et se renforçait. Dans son manifeste pour le Crystal Palace, le prince Albert avait fait le point avec concision : « Le grand principe de la division du travail, que l'on pourrait appeler la force motrice de la civilisation, est en train de s'étendre à toutes les branches de la science et de l'industrie.» Dans ces

expositions, l'interaction complexe entre la science productrice de savoir-faire industriel et la science consommatrice de produits industriels était étalée, débattue et définie (55).

Aussi bien les apologistes du « factory system » que les panégyristes des expositions louaient souvent les machines, y compris les machines calculatrices, parce qu'elles disciplinaient la force de travail, prévenaient les erreurs et garantissaient une production fiable. Tout aussi fréquemment, les visiteurs prolétariens des foires consacrées aux machines se plaignaient que leur rôle à eux au sein des manufactures y soit invisible. Ainsi, Andrew Ure, c'est caractéristique, n'échappait pas à une imagerie tirée de l'Olympe et de Frankenstein pour décrire le nouveau métier à renvider de Richard Roberts, installé dans les filatures de Manchester, un « homme de fer surgi des mains de notre moderne Prométhée sur l'ordre de Minerve – une créature destinée à ramener l'ordre dans nos classes laborieuses ». Dans son histoire, la sagesse scientifique enseignait à l'industrie la manière de gérer ses affaires et de mécaniser ses opérations de production. Mais le remplacement du travail manuel par la machine ne fut cependant ni uniforme ni universel. Comme Raphael Samuel l'a prouvé, la mécanisation industrielle du milieu de l'ère victorienne s'accompagna, dans toute l'économie, d'une préservation, d'une intensification et d'une expansion du travail manuel qualifié. « L'ingénieur du milieu de l'ère victorienne restait, de façon caractéristique, un homme de métier, un artisan ou un mécanicien plutôt qu'un opérateur ou un ouvrier. » L'invisibilité du travail humain dans le système automatisé était une image politique et morale jamais corroborée par la vie de la manufacture ni par la mise en forme des tables mathématiques. William Lazonick l'a démontré, dans les filatures de coton, par exemple : les surveillants préféraient

(54) LINDGREN, *Glory and Failure*, pp. 279-82 ; Michael R. WILLIAMS, *A History of Computing Technology* (Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1985), pp. 174-82 ; BABBAGE, *Passages*, pp. 150-9 (l'anxiété de Babbage).

(55) MATTELART, *L'Invention de la communication*, p. 135 ; le discours du prince Albert au Guildhall, en 1849, se trouve dans Robert BRAIN, *Going to the Fair : Readings in the Culture of the Nineteenth Century Exhibitions* (Cambridge : Whipple Museum, 1993), p. 24.

These things being undoubtedly true, no test can be a test which does not use them all: Your learning machinery will illustrate it. You are one tool till it

becomes two legs; you then poke at it with

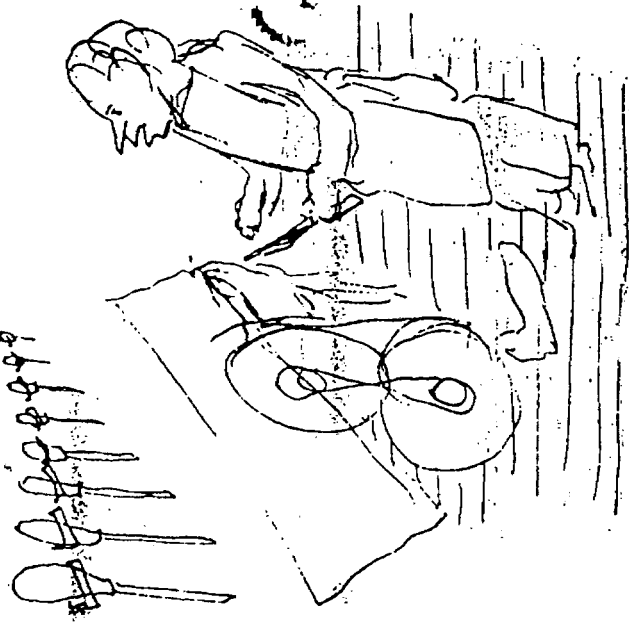
another and so on but not as information.

Nothing when the fraction is not attained. You

the while preceding her the advantage, for beyond

all question a series, which must be swayed by a nice

tool than



Croquis de Babbage dû à Augustus de Morgan

des méthodes moins mécaniques pour bobiner le fil sur les fuseaux parce que ces méthodes-là comportaient une bien meilleure discipline de la conduite et de la qualité du travail (56). Les mêmes différends se manifestèrent dans la carrière des machines calculatrices. Le patron du Bureau général des enregistrements, William Farr, confirmait que la Machine des différences « nécessitait une attention constante... Il fallait surveiller son travail avec anxiété et, pour entretenir sa bande arithmétique, il fallait l'accorder fréquemment et la manipuler avec dextérité ».

Tous les scientifiques victoriens n'était pas persuadés, il s'en faut, qu'il était désirable de remplacer certaines compétences par des machines. A Greenwich, Airy ne fut jamais convaincu de la possibilité de mécaniser les activités hautement morales et mathématiquement complexes de ses calculateurs. En 1842, il déclara au chancelier de l'Echiquier Henry Goulburn que « c'est tout juste si un chiffre de *L'Almanach nautique* peut être calculé par elle (une de ces machines)... les parties difficiles doivent être exécutées par des calculateurs humains ». Quinze ans plus tard, quand Donkin et Scheutz firent de la propagande pour les machines des différences au Bureau général des enregistrements, Airy concéda que les fonctions peu compliquées des tables de mortalité pouvaient être mécanisées, mais qu'il voulait que l'observatoire de Greenwich demeure un vivier humain. L'observatoire ne recueillerait « aucun avantage de l'utilisation de la Machine et il (Airy) lui préférera le calcul à la plume des calculateurs humains suivant la méthode employée jusqu'ici » (57). Ces opinions pouvaient être discutées. Certains critiques soutenaient par ailleurs que la pratique mathématique, tellement

admiration par Airy, ressemblait fort à un séjour dans le moulin disciplinaire d'une prison. Loin de préserver le savoir-faire humain, se plaignaient-ils, ses mathématiciens formés à Cambridge le réduisaient en réalité à une routine mécanique. Ainsi, le moraliste d'Edimbourg William Hamilton déclarait qu'aussi bien les mathématiques de Cambridge que les moulins disciplinaires « procurent une formation à une attention mécanique soutenue, dans les deux le néophyte est désagréablement dérangé à la plus petite divagation de la pensée ». Pour un observateur aussi hostile, il était de peu d'importance d'opérer un choix entre les machines calculatrices et les calculateurs de Greenwich. Aussi, lorsque Airy avançait qu'une machine dont les calculs ne portaient pas au-delà des quatrièmes différences ne convenait pas à l'analyse de ses classifications tabulaires astronomiques, Babbage le contraignit en disant qu'« il est quand même extraordinaire que, alors qu'il a été démontré que toutes les tables pouvaient être calculées mécaniquement et alors même qu'il existe une machine qui calcule déjà certaines tables, l'astronome royal ne soit pas devenu le partisan le plus enthousiaste d'un instrument qui pourrait rendre des services incommensurables à la science qui est la sienne ». Mais les machines calculatrices ne se transformèrent jamais en marchandises au sein du Royal Observatory (58).

Cependant, pour un certain nombre de scientifiques victoriens prééminents, ces machines remplissaient le rôle de symboles concrets des capacités de la nature. Les machines calculatrices pouvaient devenir de puissants emblèmes du fonctionnement réel de l'univers. Voici deux exemples. Pendant l'ensemble des années 1830, Babbage régala les invités qui ve-

(56) Tine BRULAND, « Industrial Conflict as a source of technical innovation : the development of the automatic spinning mule », *Economy and Society* 11 (1982), 91-121 ; URE, *Philosophy of Manufactures*, p. 367 ; William LAZONICK, « Industrial Relations and Technical Change : the case of the self-acting mule », *Cambridge Journal of Economics* 3 (1979), 231-262 ; Raphael SAMUEL, « The Workshop of the World : Steam Power and Hand Technology in mid-Victorian Britain », *History of Workshop Journal*, 3 (1977), 6-72, p. 40. Le *Frankenstein* (1818) de Mary Shelley était sous-titré « le Prométhée moderne ».

(57) AIRY à Goulburn, septembre 1842, Royal Greenwich Observatory MSS 6/427 ff.65-66 ; AIRY à Trevelyan, 30 septembre 1857, dans LINGREN, *Glory and Failure*, p. 280 ; FARR, *Tables of Lifetimes* (1864) dans WILLIAMS, *Computing Technology*, p. 180.

(58) (William HAMILTON), « Study of Mathematics », *Edinburgh Review* 62 (1836), 409-55, p. 429 ; BABBAGE, *Passages*, p. 139.

naient chez lui avec un prodigieux tour de divertissement. Il pouvait programmer la Machine des différences en sorte qu'elle imprime les séries d'intégrales pendant une période apparemment sans fin. N'importe quel observateur du produit obtenu était alors amené à présumer que les séries continueraient indéfiniment. Seulement, le programme de départ pouvait être ajusté de manière à ce que, arrivée à un certain point, la machine se mette à progresser par bonds de dix mille. Un nombre infini de règles différentes pouvaient lui être indiquées de cette manière. Pour l'observateur, chacune de ces discontinuités apparaissait comme un « miracle », un événement imprévisible à partir du fonctionnement apparemment uniforme de la machine.

Il n'empêche que, *de fait*, le conducteur du système lui avait donné une capacité de prévision. Les spectateurs étaient presque toujours impressionnés. Les visiteurs venaient « pour voir la machine *qui pensait* » (c'est ainsi qu'ils l'appréhendaient) et se régalaient de ce spectacle miraculeux et des ruptures en apparence soudaines de la production. « Il y avait quelque chose de sublime dans les aperçus ainsi ouverts sur l'aboutissement ultime du pouvoir intellectuel », racontait un spectateur. Quelques rues plus loin, le jeune naturaliste Charles Darwin suivait la leçon et se préparait à utiliser le système de Babbage comme un analogue de l'origine des espèces par voie naturelle sans intervention divine. Il entrelarda son ouvrage *De l'origine des espèces* (1859) d'arguments trouvés dans les descriptions de Babbage concernant les phénomènes de la machine calculatrice. Selon le message qu'il y avait découvert, le monde pouvait être représenté comme un agencement mécanique, en fait un système aux

yeux du philosophe qui n'avait pas besoin de miracles directs pour conserver son ordre habituel (59).

Un autre exemple du caractère universel attribué à ces machines est fourni par l'origine de la théorie électromagnétique de la lumière. Ainsi que nous l'avons vu, de 1843 à 1862, la Machine des différences de Babbage se trouvait dans le musée du King's College de Londres. Durant les années 1850, le professeur de technique industrielle et de mécanique du collège, le mathématicien Thomas Goodeve, issu de Cambridge, faisait des cours sur les machines exposées dans le musée, démontrait leurs propriétés, et fit éditer un manuel influent, *Les rudiments de la mécanique* (1860). Les roues dentées, les poulies, les engrenages et les tours étaient tous au programme de son enseignement (60). Peu après son départ du collège, un autre mathématicien de Cambridge, James Clerk Maxwell, y fut nommé professeur de physique. Celui-ci était encore en poste quand la machine calculatrice de Babbage fut finalement montrée au grand public, à l'exposition industrielle de Londres de 1862. Et c'est à la même époque que Maxwell sortit un modèle radicalement nouveau sur le comportement de l'éther lumineux, thème principal de la physique mathématique du milieu de l'ère victorienne. Maxwell citait le manuel de Goodeve à l'appui de l'analogie mécanique qu'il établissait avec l'éther.

Dans ce nouveau modèle, il envisageait une succession infinie de roues d'engrenages séparées par les roues décalées dont il avait trouvé la description dans le texte de Goodeve. La vitesse de chaque roue d'engrenage était assimilée à la force du champ magnétique local, le mouvement des roues décalées au flux du courant électrique. Ce rapprochement donnait aux cal-

(59) Charles BABBAGE, *Ninth Bridgewater Treatise*, 2e éd. (John Murray, Londres, 1838), pp. 32-43 ; Lady BYRON au roi, 21 juin 1833, dans Doris LANGLEY MOORE, *Ada Countesse of Lovelace* (John Murray, Londres, 1977), p. 44. L'utilisation par Darwin de l'argumentation de Babbage est présentée dans Adrian DESMOND et James MOORE, *Darwin* (Penguin, Harmondsworth, 1991), chapitre 15.

(60) Thomas GOODEVE, *The Elements of Mechanism* (Longman, Londres, 1860), pp. 72 (pour les roues décalées) et 136-7 (pour les roues de calculs) ; F.J.C. HEARNshaw, *History of King's College London* (Harrap, Londres, 1929), pp. 191, 247-60. Certaines des machines du King's College, y compris les machines de calculs sont à présent décrites dans Alan MORTON et Jane WESS, *Public and Private Science : the King George III Collection* (London : Science Museum, 1993), pp. 33-37 et 552-67.

culs de Maxwell la garantie qu'en établissant correctement le coefficient de torsion des engrenages et des roues, la vitesse de propagation d'une impulsion à travers la succession de rouages serait identique à celle de la lumière dans l'éther (61).

Et puis voici peut-être un autre héritage du projet de Babbage. Il était alors devenu plausible que les créations de la nature puissent réellement se comporter de la même façon que les machines à engrenages. A la fin de son *Economy of machinery and manufactures*, publié pour la première fois trois décennies plus tôt, Babbage avait décrit « une science supérieure » qui « est en ce moment en train de préparer ses pièges pour les atomes les plus minuscules que la nature ait créés : elle a déjà pris dans ses rets la substance éthérée, et réuni en un seul système harmonieux tous les phénomènes complexes et splendides de la lumière. Cette science est celle du *calcul* qui se révèle continuellement plus nécessaire à chaque étape de notre progrès, et qui devra finalement gou-

verner l'ensemble des applications de la science aux arts de la vie » (62). Il est important pour cette histoire de la production de connaissances et de machines qu'une prophétie sur le rôle des calculs tabulaires dans la physique classique apparaisse à la fin d'un texte consacré au « factory system ».

* *
*

Remerciements à Billy Ashworth, Bob Brain, William Ginn, Ben Marsden, Iwan Morus, Otto Sibum, Richard Staley et Andy Warwick pour leur coopération généreuse. Dans cet article, je cite des manuscrits détenus par l'université de Cambridge et la British Library.

* *
*

*Traduit de l'anglais par Edith ZEITLIN
Revu et augmenté par l'auteur*

(61) James Clerk MAXWELL, « On Physical Lines of Force », 3^e partie, dans W.D. NIVEN, éd., *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 2 vol. (Cambridge : Cambridge University Press, 1890), 1 : 499-500. Se reporter également à Salvo d'AGOSTINO, « Weber and Maxwell on the Discovery of the Velocity of Light », dans M.D. Grmek et al., éd., *On scientific Discovery* (Reidel, Dordrecht, 1980), 281-93, p. 287 et Daniel M. SIEGEL, *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory* (Cambridge : Cambridge University Press, 1991), pp. 136-43.

(62) BABBAGE, *Economy of Machinery*, p. 387.