

Le regard français de Charles Babbage (1791-1871) sur le « déclin de la science en Angleterre »

Marie-José Durand-Richard
LAGA (Universités Paris 8-Paris 13)
SPHERE (UMR 7219 CNRS-Paris 7)

Dans la représentation de l'histoire de l'informatique qui tend à se constituer depuis un demi-siècle, Charles Babbage (1791-1871) apparaît souvent comme le « père » ou le « pionnier » de l'ordinateur : les plans de sa « machine analytique », conçus à partir de 1834, conceptualisent une calculatrice automatique et mécanique à programme externe, susceptible de calculer aussi bien sur des nombres que sur des symboles. Antony Hyman¹, qui n'élude pas l'importance des travaux mathématiques de Babbage, intitule sa biographie : *Charles Babbage, Pioneer of the Computer*. Et l'Institut Charles Babbage, fondé en 1978, est consacré à l'histoire des technologies de l'information². Ce regard porté sur Babbage relève d'une conception de l'histoire des sciences qui appréhende les savants dans l'isolement de leur génie créateur. Elle satisfait une quête des origines qui habite aussi bien les scientifiques que le grand public. Mais elle projette sur le passé une visée rétrospective qui se focalise sur les éléments constitutifs de notre présent, en négligeant trop souvent le travail de réorganisation conceptuelle dans lequel s'inscrit l'émergence de nouvelles conceptualisations scientifiques.

Babbage est précisément tout sauf un savant isolé, même si ses méthodes de travail conservent certaines caractéristiques du « gentleman amateur » propre au XVIII^e siècle anglais. Mathématicien formé à Cambridge, il est un des principaux initiateurs de l'introduction de l'analyse algébrique continentale dans cette université. Politiquement proche des Radicaux, il est partie prenante d'un vaste mouvement de réforme qui cherche à unifier, tant institutionnellement que culturellement, deux espaces sociaux porteurs de valeurs bien distinctes : celui

des « practical men », porté par la révolution industrielle et les transformations structurelles qu'elle induit, et celui des « learned men », marqué par le conservatisme des structures et la tradition des contenus de l'enseignement dans les universités anglicanes de Cambridge et d'Oxford³. Aujourd'hui oubliée, sa minutieuse enquête sur l'industrie britannique, *On The Economy of Machines and Manufactures* (1832) est un jalon important de cette recherche d'unification, explicitant des valeurs nouvelles susceptibles de la structurer.

Si Babbage ne cesse d'intervenir comme chantre du rapprochement entre science et industrie, aussi bien dans le champ conceptuel qu'institutionnel, il le fait selon un argumentaire tout à fait spécifique, et relativement étonnant dans le contexte de la société britannique. Il déploie certes une perspective profondément utilitariste, affirmant haut et fort que les institutions se doivent d'œuvrer au bonheur du plus grand nombre. Mais dans toutes ses initiatives visant à promouvoir ces objectifs, il recherche systématiquement l'appui des instances gouvernementales. Lorsqu'il critique Cambridge ou la *Royal Society*, lorsqu'il impulse la création de nouvelles sociétés savantes, il exhorte l'intervention de la Couronne dans l'organisation de la science en Grande-Bretagne, prenant modèle sur les institutions scientifiques issues de la Révolution française. Il n'est pas un révolutionnaire pour autant. Dans le contexte de la révolution industrielle, il en appelle à la Couronne pour imposer aux institutions traditionnelles une réorganisation dans la structuration des connaissances, qui intègre le principe de la division du travail énoncé par Adam Smith. Cette idiosyncrasie

1 Anthony Hyman, *Charles Babbage, Pioneer of the computer*, New Jersey, Princeton University Press, 1983.

2 The Charles Babbage Institute, *Center for the History of Information Technology*, University of Minnesota, Minneapolis.

3 Marie-José Durand-Richard, « Charles Babbage (1791-1871) : de l'École algébrique anglaise à la 'machine analytique' », *Mathématiques, Informatique et Sciences humaines*, 118, 1992, 5-31 ; « Erratum », 120, 1992, p. 79-82.

se joue à la fois dans sa conception de l'algèbre, dans l'organisation de ses machines, et dans sa critique des institutions.

Les effets de la révolution industrielle sur les institutions du savoir

C'est à juste titre que Babbage est aujourd'hui reconnu pour ses travaux sur *The Difference Engine* et sur *The Analytical Engine*, puisqu'il y a progressivement investi l'essentiel de ses activités et de ses finances personnelles, et produit une conception radicalement nouvelle de la mécanisation du calcul. Il importe cependant d'avoir présent à l'esprit que Babbage travaille sur ces projets, non pas en tant qu'ingénieur, mais en tant que mathématicien formé à l'université de Cambridge (1810-14) : il y deviendra « Lucasian professor of mathematics » en 1828, poste dont il démissionnera en 1839 pour se consacrer entièrement à ses machines. Son engagement dans le processus de réformes de l'enseignement des mathématiques y est quasiment immédiat, et va s'élargir très vite à la réforme des institutions du savoir. Dès 1812, il initie à Cambridge la création d'une société d'étudiants, *The Analytical Society*, dont le seul nom désigne clairement son projet : la promotion de l'analyse mathématique. Ces étudiants, pour la plupart fils de la bourgeoisie montante, vont bientôt former le noyau dur d'un réseau de réformateurs très actifs, politiquement proches des *Whigs* ou des Anglicans libéraux, que l'historien Walter F. Cannon a baptisé le « network of Cambridge », mais qui étend ses ramifications jusqu'à Londres et au-delà⁴. Leur impatience manifeste aussi leur propre désir de reconnaissance sociale, si flagrant dans leur correspondance. Ainsi, l'ouvrage de Babbage, *Reflections on the decline of science in England and some of its causes*, est-il une critique féroce du fonctionnement aristocratique de la *Royal Society*, qui participe directement de leur tentative – infructueuse – d'installer John F. W. Herschel (1791-1871) à sa présidence en 1830. Outre les nombreux articles sur la notation mathématique qu'il publie dans les années 1820, Babbage ponctue son engagement dans le mouvement de réforme des institutions du savoir par la publication d'ouvrages de réflexion sur les conditions de réorganisation du monde scientifique, où il incite les représentants du pouvoir à comprendre et à soutenir, mais aussi à encadrer le développement industriel.

4 Walter F. Cannon, « Scientists and broadchurchmen : an early intellectual network », *Journal of British Studies*, IV, n° 1, 1964, pp. 65-88. Cet auteur est devenu Susan F. Cannon et a publié *Science and Culture, the Early Victorian Period*, Folkestone, New York, Dawson, 1968.

La situation institutionnelle est objectivement critique. La révolution industrielle modifie profondément les fondements de la société britannique. Les historiens la datent tantôt selon des critères politiques, de 1760 à 1830, durant les règnes de George III et George IV, tantôt selon des critères économiques, de 1780 à 1850⁵. L'assimilation de ses effets coïncide avec la vie même de ces algébristes réformateurs. Quoi qu'il en soit, pendant toute la première moitié du siècle, le pays traverse une succession de crises économiques et financières marquées par des émeutes sévèrement réprimées, ainsi que par la naissance des *trade unions*. La réforme électorale de 1832, en donnant la suprématie aux *Whigs* et en ouvrant la représentation politique aux classes moyennes, va cependant stabiliser quelque peu la situation politique avant le début du règne de la reine Victoria (1837-1901).

Les interventions du groupe des algébristes issus de *The Analytical Society*, souvent identifiés aujourd'hui comme l'« École algébrique anglaise »⁶ s'inscrit explicitement dans un effort d'adaptation des institutions du savoir aux effets de la révolution industrielle. La qualification de « réseau » leur convient d'ailleurs davantage, puisque chacun y prend des initiatives concordantes dans le milieu où il est le plus impliqué, d'abord entre Cambridge et Londres. Ils sont présents comme membres fondateurs et administrateurs des sociétés nouvellement créées pour rééquilibrer l'importance des sociétés savantes proches du pouvoir face à celles qui ont émergé dans les villes industrielles au tournant du siècle.

Toutes ces initiatives culmineront avec la réforme des statuts des universités de Cambridge et d'Oxford dans les années 1850, qui marque leur première grande coupure avec l'anglicanisme, précédant celle plus définitive de 1871 : Herschel et George Peacock (1791-1858) feront partie des cinq membres de la Commission d'Enquête chargée sur place de l'instruire et de la mener à bien.

Analyse mathématique et programme laplacien : compétition et réappropriation

Dès 1820, l'ambition des « Analystes » se concrétise à la fois par l'adoption du symbolisme leibnizien dans l'enseignement du calcul infinitésimal à l'université de Cambridge, et par un programme plus radical de refondation des mathématiques autour de l'algèbre symbolique, saluée en général comme point de départ d'une mutation de l'algèbre vers l'étude des structures

5 Entre l'introduction de la machine à vapeur dans les usines, et la première Exposition universelle du *Crystal Palace*, qui célèbre la suprématie industrielle de la Grande-Bretagne sur le monde.

6 Lubos Novy, « L'École algébrique anglaise », *Revue de synthèse*, III^e S., n°49-52, janv. déc. 1968, pp. 211-222.

abstraites. L'initiative de Babbage sera poursuivie, à Cambridge et au delà, par ce réseau d'algébristes et leurs successeurs, dont Augustus de Morgan (1806-1871), Duncan F. Gregory (1813-1844) et George Boole (1815-1864) ne sont que les membres les plus représentatifs⁷. Si les faits sont connus, les enjeux sont trop souvent masqués par le point de vue téléologique et quelque peu biaisé qui consiste à n'observer du passé que les prémices des conceptualisations ultérieures. La querelle de priorité qui a opposé Newton et Leibniz au sujet de l'invention du calcul infinitésimal ne suffit pas à expliquer plus d'un siècle de crispation de Cambridge autour des méthodes newtoniennes. Comme William Whewell (1794-1866) à cette époque⁸ et Martha McMackin Garland plus récemment⁹ l'ont déjà montré, cet attachement à une structuration géométrique des mathématiques, fondée sur les *Éléments* d'Euclide et l'approche newtonienne des fluxions, relevait beaucoup plus crucialement d'une représentation de la connaissance légitimant sa permanence par son enracinement dans les valeurs du passé. Et Christiane Ruffieux¹⁰ a souligné à juste titre que cet enracinement n'était pas pour autant synonyme de « retard », mais bien plutôt d'une orientation de recherche spécifique, certes différente de celle du continent, et développée pour elle-même autour de la géométrie au XVIII^e siècle en Grande-Bretagne.

Comment Laplace réconcilie Newton et Leibniz

Aussi bien Babbage, Herschel, Peacock, que le groupe d'étudiants qui les entourent sont animés par la volonté explicite de combler le fossé constaté entre la formation

des classes dirigeantes traditionnelles et celle de la nouvelle bourgeoisie industrielle montante¹¹. Mais l'événement majeur qui nourrit l'urgence d'introduire les méthodes continentales du calcul infinitésimal à Cambridge participe finalement bien plutôt d'une réconciliation que d'une rupture. Malgré les apparences, il se situe davantage sur le terrain de la philosophie naturelle que sur celui des seules mathématiques. L'*Exposition du système du monde* (1796) de Pierre-Simon Laplace (1749-1827), et les premiers volumes de sa *Mécanique céleste* (1799-1825), signent en effet la réunification des conceptions de Newton et de Leibniz sur la stabilité du système solaire. Résolvant analytiquement la question des inégalités séculaires des planètes, Laplace témoigne de la puissance de la théorie gravitationnelle de Newton, et légitime du même coup l'outil analytique qui permet d'en traiter efficacement¹² : les *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* seront désormais analytiques. Le programme laplacien s'offre à la fois comme confirmation de l'œuvre du héros national, et comme programme de recherches théorique et observationnel pour l'astronomie, toujours célébrée comme science mathématique au XIX^e siècle. Ce contexte vaut d'autant plus d'être retenu que l'élaboration des machines de Babbage est directement envisagée pour produire des tables mathématiques pour l'astronomie, « reine des sciences » qui conjugue l'étude des mouvements célestes et l'analyse des conditions matérielles de la navigation, fer de lance de cette nation maritime. Il aide également à comprendre la subordination – souvent soulignée par les historiens – dans laquelle demeurera l'entreprise des algébristes de Cambridge vis-à-vis de la philosophie naturelle dans les décennies suivantes¹³. Tant du point de vue des mathématiques que du point de vue des institutions, le modèle laplacien ne cessera d'exercer une attraction considérable sur les algébristes de Cambridge. L'urgente nécessité est donc avant tout de maîtriser cette œuvre comme approfondissement de la théorie newtonienne. L'assimilation du symbolisme leibnizien

7 Marie-José Durand-Richard, « Révolution industrielle : logique et signification de l'opérateur », *Mélanges en l'honneur d'Ernest Coumet, Revue de synthèse*, t. 122, 4^e S. n° 2-3-4, avril-décembre 2001, pp. 321-346. Arthur Cayley (1821-1895) et Joseph J. Sylvester (1814-1897) sont également cités par Novy, mais ils œuvrent dans un contexte moins directement marqué par les « Analystes ». Quant à William Rowan Hamilton (1805-65), il se démarque explicitement des conceptions de ce réseau en 1837.

8 William Whewell, *Thoughts on the study of mathematics as part of a liberal education*, Cambridge, 1835 ; et *On a liberal education in general, and with particular reference to the leading studies in the University of Cambridge*, Cambridge, 1845.

9 Martha McMackin Garland, *Cambridge before Darwin, The ideal of a liberal education, 1800-1860*, Cambridge, Cambridge University Press, 1980.

10 Christiane Ruffieux, *La naissance du concept de structure algébrique en Grande-Bretagne dans la première moitié du XIX^e siècle, Influence des philosophes de l'« École Écossaise du Sens commun »*, Thèse de la faculté des Sciences de l'université de Genève, 2005.

11 Marie-José Durand-Richard, « L'École algébrique anglaise : les conditions conceptuelles et institutionnelles d'un calcul symbolique comme fondement de la connaissance », dans Catherine Goldstein, Jeremy Gray, Jim Ritter éd., *L'Europe mathématique. Mythes, histoires, identité*. Paris, Éd. MSH, 1996, p. 445-77.

12 Arthur L. Norberg, « Table making in astronomy », dans Martin Campbell-Kelly, Mary Croarken, Robert Flood, Eleanor Robson éd., *The history of mathematical tables : From Sumer to Spreadsheets*, Oxford, Oxford university press, 2003, pp. 177-207.

13 Harvey W. Becher, « William Whewell and the Cambridge mathematics », *HSPS*, n° 11-1, 1980, pp. 1-48.

n'en est que le moyen. À l'heure où Babbage et ses amis entrent à Cambridge, si les mathématiques représentent « la gloire et l'honneur » de cette université, les chroniqueurs de Laplace déplorent l'ignorance affligeante dans laquelle le rejet de la notation différentielle a plongé leurs compatriotes¹⁴. Au-delà de la sévère critique des universités anglicanes qu'il publie dans *The Edinburgh Review*, John Playfair (1748-1819) s'applique à établir que ce « système du monde » est conforme à l'existence d'un « Dessein » initial, et n'entre donc pas en contradiction avec la conception théologique du monde, constitutive du socle de croyances de la société anglicane. La réintégration de l'œuvre laplacienne est à ce prix : elle ne saurait menacer l'« alliance sacrée » entre science et religion¹⁵.

« When we consider the provision made by nature for the stability and permanence of the planetary system, a question arises, which was before hinted at, – whether is this stability necessary or contingent, the effect of an unavoidable or an arbitrary arrangement? If it is the necessary consequence of conditions which are themselves necessary, we cannot infer from them the existence of a design, but must content ourselves with admiring them as simple and beautiful truths, having a necessary and independent existence. If, on the other hand, the conditions from which this stability arises necessarily, are not necessary themselves, but the consequences of an arrangement that might have been different, we are then entitled to conclude, that it is the effect of wise design exercised in the construction of the universe.

Now, the investigations of La Place enable us to give a very satisfactory reply to these questions; viz. that the conditions essential to the stability of a system of bodies gravitating mutually to another, are by no means necessary, inasmuch that systems can easily be supposed in which no such stability exists. The conditions essential to it, are the movement of the bodies all in one direction, their having orbits of same eccentricity, or not far different from circles, and having periods of revolution not commensurable with one another. Now, these conditions are not necessary; they may easily be supposed different; any of them might be changed, while the others remained the

14 John M. Dubbey, *The mathematical work of Charles Babbage*, Cambridge, Cambridge University Press, 1978, p. 11.

15 John Gascoigne, *Cambridge in the age of the Enlightenment: Science, religion and politics from the Restoration to the French Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, pp. 187-236.

same. The appointment of such conditions therefore as would necessarily give a stable and permanent character to the system, is not the work of necessity; and no one will be so absurd to argue, that it is the work of chance. It is therefore the work of design, or of intention, conducted by wisdom and foresight of the most perfect kind. Thus the discoveries of La Grange and La Place lead to a very beautiful extension of the doctrine of final causes the more interesting the greater the objects are to which they relate. This is not taken notice of by Laplace; and that it is not, is the only blemish we have to remark in his admirable work¹⁶ ».

Dès lors, dans la préface – anonyme – de l'unique volume de *Memoirs* que publie the *Analytical Society* en 1813, où il passe en revue la richesse des développements de l'analyse mathématique sur le continent au cours du XVIII^e siècle, Babbage peut présenter leur entreprise comme un travail de réappropriation collective où filtre une pointe de nationalisme :

« Discovered by Fermat, concinnated and rendered analytical by Newton, and enriched by Leibnitz with a powerful and comprehensive notation, it was presently seen that the new calculus might aspire to the loftiest ends. But, as if the soil of this country were unfavourable to its cultivation, it soon drooped and almost faded into neglect, and we have now to re-import the exotic, with nearly a century of foreign improvement, and to render it once more indigene among us¹⁷ ».

Maîtrise et dépassement du programme laplacien

Si Laplace traite l'analyse comme un outil puissant au service de la philosophie naturelle, l'implanter à Cambridge en lieu et place de la géométrie euclidienne comme fondement des connaissances scientifiques suppose de l'établir comme science rigoureuse. Ainsi, dès 1814, les premiers travaux de recherche de Herschel commentent-ils largement le travail de Laplace sur les fonctions génératrices¹⁸, insistant sur les caractéristiques d'autonomie de l'écriture algébrique qui confirment le programme des *Memoirs* :

16 John Playfair, « Review of Laplace's *Traité de mécanique céleste* », *Edinburgh review*, 11, 1808, 249-84, pp. 278-279.

17 Charles Babbage, Preface, *Memoirs of the Analytical Society*, 1813, Cambridge, dans Martin Campbell Kelly éd., *The Works of Charles Babbage*, London, William Pickering, 1989, 11 vols, vol. 1, p. 42.

18 John F. W. Herschel, « Consideration of various points of analysis », *Philosophical Transactions*, 114, 1814, pp. 440-468.

« The admirable review of *Mécanique Céleste* (*Edinburgh Review* n° 22) will still be fresh in the minds of our readers. But it should be recollected, that the Author of that Essay confines his attention entirely to the subject of Analytical Dynamics ; referring to the discoveries in the Integral Calculus merely as connected with that subject, and that too very cursorily, Our business is exclusively with the pure Analytics¹⁹ ».

Ce programme concerne avant tout l'enseignement et la recherche mathématiques à Cambridge. Outre l'adoption de la notation différentielle dans les examens à Cambridge dès 1820, il s'appuie sur un important travail de publication : la traduction en 1816 du *Traité élémentaire de calcul différentiel et intégral* (1802) de Sylvestre François Lacroix (1765-1843) par Babbage, Herschel et Peacock ; trois volumes d'exemples à destination des tuteurs et des examinateurs en 1820, portant respectivement sur le calcul fonctionnel, le calcul des différences finies, et le calcul intégral. Le choix de Lacroix, mathématicien pédagogue directement impliqué dans la mise en place des institutions scientifiques post-révolutionnaires en France, n'est pas neutre. Il confirme leur admiration profonde pour la réorganisation des sciences en France, manifeste depuis leurs rencontres avec l'école laplacienne²⁰ à Paris dans les années 1820.

« In the midst of that excitement which accompanied the Revolution of France and the succeeding wars, the ambition of the nation, unexhausted by its fatal passion for military renown, was at the same time directed to some of the nobler and more permanent triumphs which mark the era of a people's greatness – and which receive the applause of posterity long after their conquests have been wrested from them, or even when their existence as a nation may be told only by the page of history²¹ ».

19 *Op. cit.*, n. 17, p. 6, p. 11.

20 Babbage rencontre Laplace – et également Biot, Arago, Fourier – en 1819 en compagnie de Herschel, et en 1826 en compagnie de son épouse. Peacock accompagne plusieurs fois des étudiants de Cambridge pour leur tour d'Europe en tant que tuteur, et voyage ensuite pour lui-même. Et les contacts entre ces réformateurs et les membres de l'école laplacienne sont nombreux, de part et d'autre de la Manche, sous forme de visites et d'échanges d'articles et d'ouvrages. Marie-José Durand-Richard, « George Peacock (1791-1858) : La Synthèse Algébrique comme loi symbolique dans l'Angleterre des Réformes (1830) », Thèse pour le doctorat de l'EHESS 1985, pp. 187-189.

21 Charles Babbage, *The economy of machines and manufactures*, Londres, 1832, dans *Babbage's Works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 8, p. 135. Peacock réaffirmera cette admiration en 1833 :

Même Napoléon, honnis avant 1815, s'en trouve glorifié en 1830 :

« During the reign of that extraordinary man [Napoleon] the triumphs of France were as eminent in science as they were splendid in arms. May the institutions which trained and rewarded her philosophers be permanent as the benefits they have conferred upon mankind²² ».

Les sociétés savantes que ces jeunes réformateurs contribuent activement à créer entre Cambridge et Londres dans la même période éclairent sur la prégnance directe de ce programme laplacien. Il a souvent été souligné – à juste titre – qu'ils visaient à rétablir l'équilibre des pouvoirs face aux nombreuses sociétés savantes récemment créées dans les nouvelles villes industrielles. Mais il s'agit tout autant d'assurer à l'Angleterre sur le plan scientifique la même prépondérance que celle dont elle dispose sur le plan politique et économique. La *Cambridge Philosophical Society* (1819) et la construction d'un nouvel observatoire (1823) à Cambridge, la *Royal Astronomical Society* (1820) à Londres, sont tout autant destinées à secouer la léthargie de la *Royal Society* qu'à affirmer l'existence de nouvelles formes de savoir et de pouvoir, et à associer plus étroitement théorie et observations dans l'étude de la philosophie naturelle, caractéristiques premières de l'œuvre laplacienne. Quant à la *British Association for the Advancement of Science* (1831), dont le rôle de médiation entre monde industriel et monde universitaire a déjà été soigneusement analysé²³, elle s'appliquera à conjuguer les ressources de la science et de l'industrie au service d'une maîtrise de la réalité physique et matérielle à l'échelle de la planète. En témoignent les nombreux comités qui ponctuent son histoire, chargés d'améliorer par exemple l'analyse des observations météorologiques et magnétiques ou celles des marées, d'organiser la mesure du rendement des machines, ou de mécaniser les méthodes d'approximation dans la résolution des équations algébriques ou différentielles, dans le cadre d'une algèbre que John Lubbock (1834-1913) traitera en 1881 de « mechanical mathematics »²⁴.

voir annexe 2.

22 Charles Babbage, *Reflections on the decline of science in England and some of its causes*, Londres, 1830, dans *Babbage's Works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 7, p. 13.

23 Jack Morrell, Arnold Thackray, *Gentlemen of science, Early years of the British Association for the Advancement of Science*, Oxford, Clarendon Press, 1981. Elle organisera systématiquement ses premiers congrès, alternativement, entre villes industrielles et villes universitaires.

24 John Lubbock, *Fifty Years of Science, being The Address delivered at York to the British Association*, London, MacMillan,

Les machines mathématiques de Babbage

L'histoire des travaux de Babbage sur les machines de calcul est bien documentée²⁵, mais surtout analysée eu égard à l'émergence de l'informatique. Elle est largement étayée par les écrits de leur auteur, y compris par des souvenirs rétrospectifs²⁶ qu'il convient d'accueillir avec réserve. Ses plans de *The Analytical Engine*, conçus à partir de 1834, représentent une forme d'aboutissement de ses recherches sur une première machine, *The Difference Engine*, destinée au calcul et à l'impression automatiques des tables trigonométriques et de logarithmes. La chronologie des différentes étapes de son travail, conjuguée à celle de ses articles mathématiques et de l'élaboration de l'algèbre symbolique par Peacock, permet de mieux discerner leurs enjeux et leurs fécondations mutuelles. La réception de Laplace s'accompagne d'une volonté manifeste de faire jeu égal avec la France, tant dans le domaine politique et économique que scientifique. Dans le contexte de la révolution industrielle, cette problématique va déboucher sur des modes spécifiques de conceptualisation.

Produire des tables numériques pour la Royal Astronomical Society

L'idée de mécaniser la production des tables astronomiques, si indispensables à la navigation, n'est pas issue du seul génie de Babbage. Elle s'inscrit dans une dynamique générale de rationalisation des calculs au sein de la *Royal Astronomical Society*. William J. Ashworth²⁷ enracine cette démarche dans les pratiques d'enregistrement systématique des données progressivement mises en place par la *Royal Navy* depuis le XVIII^e siècle, et dans l'origine socio-

1881.

25 *Op. cit.*, pp. 1-3, et les nombreuses publications de Doron Swade dans le cadre du « Babbage Engine project » au *Science Museum* de Londres, ainsi que : John M. Dubbey, *The mathematical work of Charles Babbage*, Cambridge. university press, 1978 ; Robert Ligonnière, *Préhistoire et histoire des ordinateurs*, Paris, Robert Laffont, 1987 ; Ivor Grattan-Guinness, « The computation factory: de Prony project for making tables in the 1790s » dans *op. cit.* n. 13, pp. 101-121 ; Marie-José Durand-Richard, « Des machines pour résoudre des équations différentielles », *Actes de l'Université d'été « Le calcul sous toutes ses formes »*, 2006, http://www3.ac-clermont.fr/pedago/maths/pages/site_math_universite/CD-UE/Menu_pour_Internet.htm

26 Comme d'autres savants, Babbage évoque, dans son autobiographie de 1864, un « rêve » fait en 1819 où il imaginait déjà de mécaniser la réalisation des tables numériques. Charles Babbage, *Passages of the life of a philosopher*, London. 1864, repris dans *Babbage's Works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 11, pp. 30-31.

27 William J. Ashworth, « The calculating eye: Baily, Herschel, Babbage and the business of astronomy », *The British journal for the history of science*, XXVII, 1994, pp. 409-441.

économique du noyau des fondateurs de cette société, qu'il qualifie de « business astronomers » : Herschel, fils d'astronome, Babbage et Henry T. Colebrooke (1765-1827), fils de banquiers, mais surtout, Francis Baily (1774-1844), Benjamin Gompertz (1779-1865) et James South (1785-1867) tous issus du monde des actuaires, dont ils vont importer les pratiques de calcul en astronomie. Babbage participera d'ailleurs en 1824 à la création d'une compagnie d'assurances dont il calculera les tables, bien que le projet fût finalement abandonné.

Les « business astronomers » soulignent la nécessité de renouveler ces tables pour suivre les progrès de l'astronomie, et le danger que font courir à la navigation la présence de nombreuses erreurs dans celles du *Nautical Almanach*, établi par le *Board of Longitudes*. Mais surtout, les précisions apportées par la *Mécanique céleste* de Laplace, notamment pour le calcul des marées, rendent obsolètes les tables astronomiques les plus récentes. Là encore, le Bureau des Longitudes de Paris sert de référence. *L'Astronomical Society*, qui recevra sa charte royale en 1832, se veut d'emblée une société spécialisée – par opposition à la *Royal Society* – dont le projet explicite est de rénover l'organisation des observations et les méthodes de calcul des tables astronomiques. Elle sera directement sollicitée par l'Amirauté en 1828, au moment de la dissolution du *Board of Longitudes* et de la mort de l'astronome royal J. Pond.

Le discours inaugural, paru en 1821 dans le premier numéro des *Memoirs*, présente la nouvelle société comme « centre commun de communication et de classification », chargé de coordonner le travail des observatoires privés – jusqu'ici isolés et indépendants – selon le principe de la division du travail, que le continent a déjà partiellement adopté. L'examen des cieux doit être minutieusement réparti selon un plan de travail unifié, afin de n'en oublier aucun secteur, tout en évitant les observations multiples:

« Astronomy, the sublimest branch of human knowledge, has remained up to the present time unassisted by that most powerful aid [of associated bodies] and has relied for its advancement on the labours of insulated and independent individuals...

The knowledge of our peculiar system, and that more extended branch of astronomical science to which the name cosmology is best adapted, may alike be benefited by this division of labour, and systematic mode of examination...

[To prepare a complete catalogue of stars and other bodies] is a task which, to be accomplished, must be divided among members: but so divided as to preserve a perfect unity of design, and prevent the loss of labour which must result from several observers

working at once on the same region, while others are left unexamined.

Widely scattered as Englishmen are, over the surface of the globe, the advantages which might occur to science from a more general diffusion of such knowledge, are incalculable...

The objects of the original members may be sufficiently gathered from what has been already said, and may be thus summed up in few words: viz. to encourage and promote their peculiar science by every means in their power, but especially – by collecting, reducing and publishing useful observations and tables – by setting on foot a minute and systematic examination of the heavens – by encouraging a general spirit of enquiry in practical astronomy – by establishing communications with foreign observers – by circulating notices of all remarkable phenomena about to happen, and of discoveries as they arise – by comparing the merits of different artists eminent in the construction of astronomical instruments – by proposing prizes for the improvement of particular departments, and bestowing medals or rewards on successful research in all – and finally, by acting as far as possible, in concert with every institution, both in England and abroad, whose objects have any thing in common with their own, but avoiding all interference with the objects and interests of established scientific bodies²⁸ ».

L'extension de l'Empire britannique peut prétendre à cette campagne d'observations tous azimuts : Herschel partira d'ailleurs au Cap de Bonne Espérance dans ce cadre de 1833 à 1838, pour établir un nouvel observatoire et établir une carte des étoiles de l'hémisphère sud, selon un projet déjà présent dans ce discours inaugural de 1821.

La production des tables astronomiques passe par celle de tables préliminaires, celles des fonctions trigonométriques et logarithmiques qui interviennent de manière répétitive dans l'utilisation des formules du calcul astronomique. Et c'est dans ce cadre, nourri du travail du baron ingénieur Gaspard Riche de Prony (1755-1839) en France, que Babbage va se lancer dans la mécanisation du calcul.

Division du travail et mécanisation du calcul : « The Difference Engine »

La machine aux différences de Babbage matérialise le calcul des valeurs successives d'une fonction, obtenu par la méthode des différences finies. Mathématiquement, il s'agit de calculer les valeurs successives d'une fonction

28 Anonymous, « Inaugural address », *Memoirs of the Astronomical Society*, 1821, vol. 1, pp. 1-7.

connaissant sa valeur initiale et celles de ses différences successives, définies par :

$$\Delta^n f(x) = \Delta^{n-1} f(x+1) - \Delta^{n-1} f(x)$$

Cette méthode s'appuie au départ sur une propriété d'un polynôme de degré n : pour des valeurs successives équidistantes de la variable, les différences n-ièmes des valeurs correspondantes du polynôme sont constantes, et les différences (n+1)-ièmes nulles. Ainsi, pour la fonction f telle que f(x) = x² :

0	→	1	4	9	16	25	36	49	64	
	↖	1	→	3	5	7	9	11	13	15
		↖	2	→	2	2	2	2	2	2
			↖	0	0	0	0	0	0	0

les différences secondes sont constantes, et les différences troisièmes sont nulles. Réciproquement, il suffit de connaître les valeurs initiales de la fonction et des différences successives pour retrouver, par une simple réitération d'additions, d'abord tous les nombres de la ligne précédente, et ceci jusqu'aux valeurs de la fonction. Cette propriété caractérise les polynômes, mais elle vaut également pour les fonctions continues sur un intervalle donné, comme le démontre le théorème de Stone-Weierstrass, établi ultérieurement. Par exemple, l'équation aux différences $\Delta^4 u_n = 0$ donne une approximation des fonctions logarithmes à 10⁻¹⁰ près. Obtenue par induction pour les fonctions polynômiales, la méthode des différences finies fournit par extension une approximation satisfaisante des valeurs de n'importe quelle fonction usuelle. Comme l'écrit Babbage :

« Mathematicians have discovered that all the Tables most important for practical purposes, such as those relating to Astronomy and Navigation, can, although they may not possess any constant differences, still be calculated in detached portions by that method²⁹ ».

Cette propriété n'est pas nouvelle³⁰, mais elle fonde ici une méthode unificatrice pour le calcul de toutes sortes de tables mathématiques³¹. De Prony vient d'en faire l'outil de base pour organiser la « manufacture des nombres », ce que Babbage va systématiser en Angleterre, via la mécanisation du calcul.

Directeur du Bureau du Cadastre qu'il a constitué en 1791 pour élaborer la mesure exacte de la propriété comme base de l'impôt, de Prony doit également recalculer toutes les tables trigonométriques pour l'astronomie,

29 *Op. cit.*, n. 26, p. 34.
 30 Elle a été observée déjà par Henry Briggs (1561-1631) dans son *Arithmetica Logarithmica* en 1624.
 31 Focalisé sur les méthodes d'invention et l'importance des développements en série, Babbage n'accorde aucune importance spécifique à la continuité des fonctions.

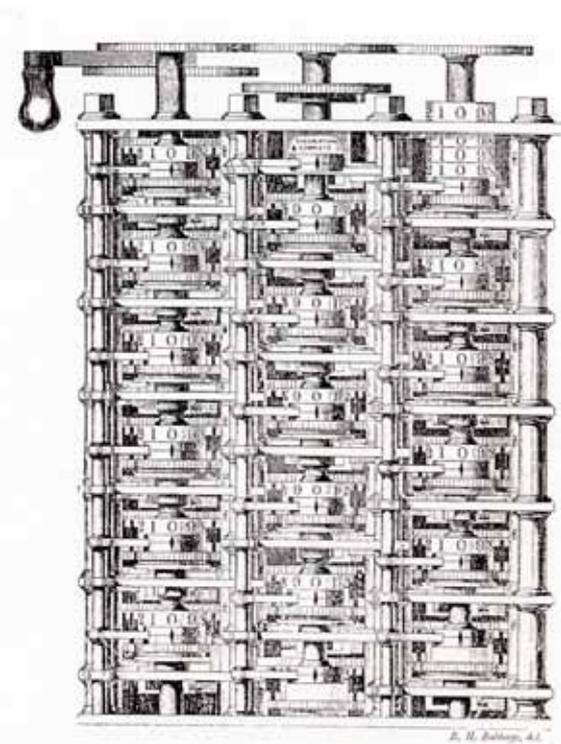


fig. 1 - Charles Babbage : Difference Engine n° 1. Frontispice de Charles Babbage, *Passages of the life of a philosopher*, London, Longman, 1864. Il y est précisé qu'elle est propriété du gouvernement, commencée en 1823, assemblée en 1833, exposée à l'Exposition d' Londres en 1862, et que cette gravure a été réalisée en 1853.

l'adoption du système métrique ayant établi le grade – centième partie de l'angle droit – comme nouvelle unité d'angle. Lourde tâche, qu'il a pu organiser avec succès grâce au principe de la division du travail, découvert fort à propos dans *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (1776) d'Adam Smith, et selon la méthode des différences finies, qu'il enseigne alors dans son cours d'analyse à l'École polytechnique. Ces tables ont été réalisées, en deux exemplaires pour vérification réciproque : 19 volumes de 250 folios, dont l'impression a été abandonnée par l'éditeur Firmin Didot, en raison de la chute de la valeur des assignats³².

Selon la « Notice » que présente Prony à l'Académie des sciences en 1824, cette « manufacture des nombres » comportait trois sections :

- la première, formée de quatre ou cinq mathématiciens de haut niveau – dont Laplace, Legendre, et de Prony – était chargée de trouver le développement analytique le plus adéquat au calcul numérique ;
- la seconde, formée de sept ou huit calculateurs ayant une bonne expérience des mathématiques – enseignants

³² Ces exemplaires se trouvent aujourd'hui à l'Observatoire de Paris, et à la bibliothèque de l'Institut.

et auteurs de manuels – était chargée de quantifier les formules retenues par la première section, de choisir les valeurs initiales, les intervalles et le pas des calculs, et de préparer les feuilles pour consigner les résultats ;

- la troisième enfin, formée de 70 à 80 personnes ne sachant effectuer que des additions et des soustractions, devait remplir les feuilles de calcul.

Babbage commence la construction de *The Difference Engine* immédiatement après sa rencontre³³ avec de Prony à Paris en 1819. L'éditeur lui a confié un exemplaire des épreuves de ces « Grandes Tables »³⁴. Chargé par *The Astronomical Society* d'établir avec Herschel la préparation de tables semblables, il a pu éprouver la difficulté d'obtenir des tables fiables. La réduction des interventions humaines par l'automatisation des opérations à effectuer vise l'élimination des erreurs, ainsi que la réduction du temps et des coûts. La machine ramène le nombre d'intervenants de 96 à 12, et un moulage direct des planches de calcul remplace le procédé classique d'impression par caractères mobiles.

Outre un modèle de démonstration réalisé en 1822, et comportant deux ordres de différences pour des nombres à six chiffres, Babbage envisage dès 1823 une machine plus conséquente avec six ordres de différences et des nombres à vingt chiffres, dont il entend contrôler la fabrication et l'assemblage dans son atelier personnel, spécialement aménagé à cet effet. Mais les problèmes que pose sa réalisation dépassent les prévisions, tant du point de vue financier que technique, et seule une partie de la machine sera assemblée en 1833. Le projet sera abandonné en 1842, et la partie assemblée confiée en 1843 au musée du *King's College* de Londres à Somerset House, puis au *Science Museum* de South Kensington en 1864, où il est toujours exposé, et en parfait état de fonctionnement.

Les arguments ne manquent pas pour tenter d'expliquer que ce projet soit resté inabouti³⁵ : disputes financières entre Babbage et le gouvernement, querelles de propriété pour les plans et les outils – qui sont conçus et fabriqués en même temps que la machine – entre Babbage et son premier artisan Joseph Clément, évidente pusillanimité de Babbage lui-même, qui s'oriente dès 1834 vers la conception de *The Analytical Engine*, pour

³³ Voir n. 20.

³⁴ Cambridge University Library, Manuscripts Room, *Babbage papers*, Add. MS 8705 (37).

³⁵ Les historiens ont longuement commenté cette situation, parmi lesquels, outre Hyman et Dubbey déjà cités : Michael R. Williams, « Difference engines: from Müller to Comrie », dans *op. cit.*, n. 13, pp. 122-144 ; Simon Schaffer, « Babbage's intelligence: calculating engines and the factory system », *Persée*, vol. 4, n° 2, 1996, pp. 271-298.

enrichir dès 1847 les plans d'une autre *Difference Engine* n° 2. Une telle réalisation n'était pourtant pas impossible, puisqu'à la même époque, Georg et Edward Scheutz ont réalisé une machine aux différences à partir des plans et des encouragements de Babbage et que la *Difference Engine* n° 2 a été construite au *Science Museum*³⁶ pour le bicentenaire de la naissance de Babbage. L'importance du traitement de données numériques de plus en plus abondantes a souvent été invoquée pour caractériser sa démarche³⁷. La volonté d'intégrer l'expérience au travail mathématique est manifeste, mais elle concerne bien plus les pratiques opératoires et les méthodes d'invention que l'accumulation des données. En ce sens, les machines de Babbage interviennent avant tout comme matérialisation des lois mathématiques sous-jacentes à ces pratiques et méthodes. Aussi bien la façon dont Peacock conçoit l'Algèbre Symbolique, que celle dont Babbage présente les relations entre science et industrie, participent d'un même système de représentation où l'expérience, qui relève de la contingence est un outil qui suggère au mathématicien des lois relevant de la nécessité. Leur volonté unificatrice maintient, tant épistémologiquement que sociologiquement, la supériorité du savoir théorique sur le savoir pratique, minorant ainsi la possibilité d'interactions constructives entre théorie et pratique, tout comme entre science et industrie.

The « Analytical Engine », matérialisation de l'Algèbre Symbolique

Au cours des années 1820, Babbage mène de front la réalisation de la machine aux différences, la rédaction d'articles sur la notation mathématique et mécanique, celle de son manuscrit non publié *The Philosophy of Analysis*³⁸, et la longue enquête sur les usines et les villes industrielles qui nourrit *On the Economy of Machines and Manufactures*. Il entretient une correspondance suivie avec Herschel et Peacock, chacun commentant ou corrigeant les productions des autres³⁹. Peacock expose

³⁶ La machine aux différences n° 2 de Babbage, dont les plans ont été réalisés à partir de 1847, a été construite au début des années 1990, et se trouve dans ce même musée. La partie imprimante a été complétée en 2000. Et un nouvel exemplaire de cette même machine était en construction au cœur du musée en 2005 pour un musée au Canada. La machine de Scheutz s'y trouve également exposée.

³⁷ C'est notamment le cas de J. Morrell et A. Thackray (*op. cit.*, n. 7), qui s'appuient sur les pratiques de la *British Association for the Advancement of Science*, et notamment sur l'article de Babbage : « The science of number reduced to mechanism », dans *Babbage's Works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 2, pp. 15-32

³⁸ British Library, Manuscript Room, Add. Mss 37 202.

³⁹ Royal Society Library, *Herschel Papers*, British Library, *Babbage Papers*, Trinity College Library, *Peacock Papers*.

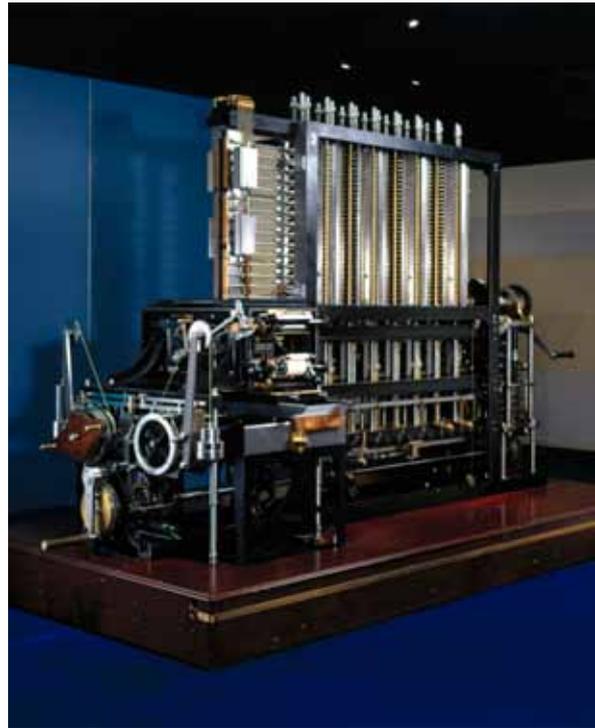


fig. 2 - Charles Babbage : Difference Engine n° 2. Construit au Science Museum de South Kensington, Londres, 2001. Inv. n° 1992-0556, Cliché n° 10324907, acheté à Londres au Science Museum/SSPL.

sa conception de l'Algèbre Symbolique à Cambridge en 1830 dans *A Treatise of Algebra*, destiné aux étudiants, et en 1833 devant ses condisciples, pour le troisième congrès de la *British Association for the Advancement of Science*, dans son « Report on the recent progress and actual state of certain branches of Analysis ». Cette proximité des échanges, et cette simultanéité dans l'élaboration permet de ne pas envisager comme fortuite la proximité structurelle de l'Algèbre Symbolique⁴⁰ et de la machine analytique. Cette proximité reflète elle aussi l'impact du principe de la division du travail.

L'Algèbre Symbolique constitue le point d'ancrage de cette tentative de constituer l'algèbre comme science, tout en préservant ses capacités d'invention. Elle ambitionne, non seulement la maîtrise, mais le dépassement du programme laplacien. Elle prolonge, du côté de « l'analyse pure », une direction de recherche initiée en France par Lagrange, Laplace, Fourier, et surtout Arbogast, mais qui va s'effacer en France devant les conceptions de Cauchy. Spécifiquement, les algébristes de Cambridge s'appuient

⁴⁰ Là où John M. Dubbey a pu soupçonner Peacock de plagiat inconscient vis-à-vis de certaines idées de Babbage présentes dans *The Philosophy of Analysis*, je parlerai plutôt d'une élaboration commune des conditions auxquelles l'Algèbre peut être pensée comme une science, et non plus comme un art, en raison de la nature des échanges épistolaires entre eux et Herschel. *Op. cit.*, n. 40.

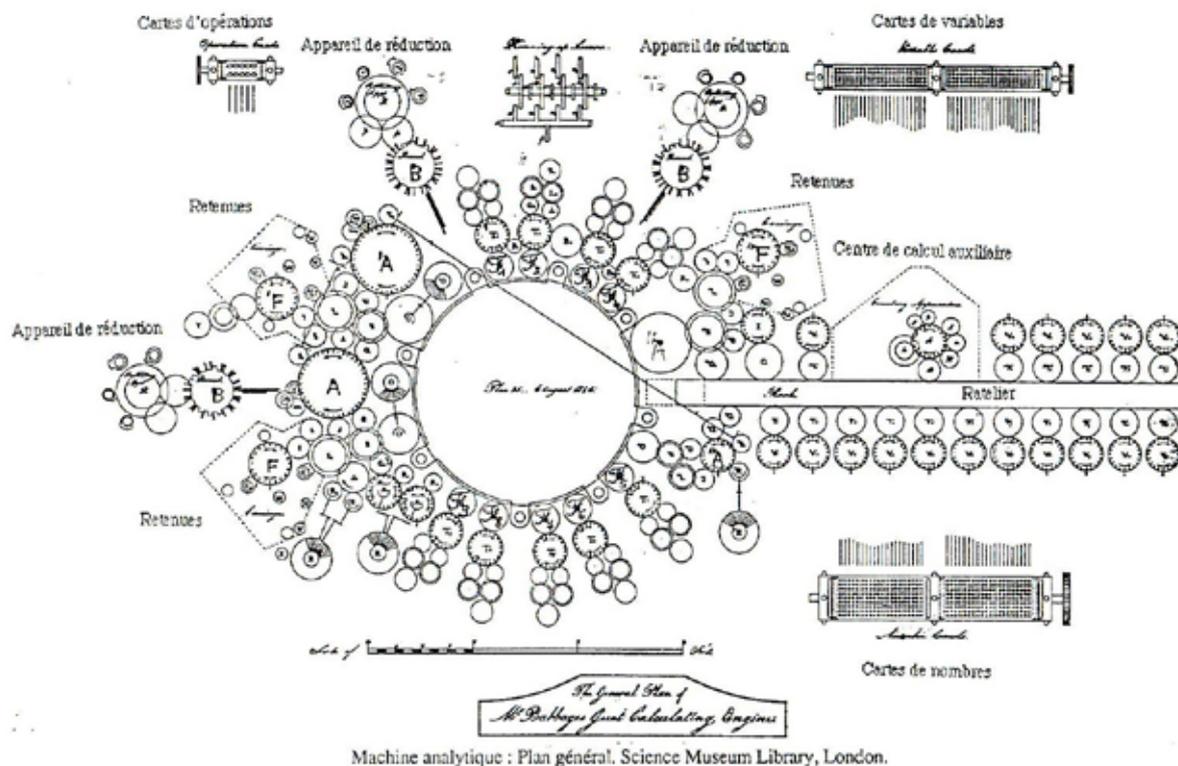


fig. 3 - Charles Babbage : Plan de la machine analytique (1840) dans lequel ont été ajoutés les éléments organisationnels de la machine. Extrait de *Mathématiques, Informatique et Sciences Sociales*, 1992, n° 120, p. 82.

sur la philosophie de Locke pour renforcer la possibilité ouverte par ces travaux de concevoir un calcul fondé sur la séparation entre symboles d'opération et symboles de quantité. Peacock s'attache à faire reconnaître l'algèbre comme science déductive, et pour ce faire, à la débarrasser de toutes les ambiguïtés issues d'extensions de l'écriture numérique à l'écriture littérale, dont beaucoup reposent sur des analogies opératoires. Tout en les distinguant soigneusement, Peacock maintient une stricte hiérarchie entre :

- l'arithmétique, science de la quantité et de la mesure,
- l'algèbre arithmétique, dite « science de suggestion », du fait de sa double fonction : généraliser les propriétés obtenues, en remplaçant les nombres par des lettres dans les opérations de l'arithmétique, mais en respectant les limitations attachées aux valeurs numériques que peuvent prendre ces lettres du fait de la signification arithmétique des opérations ; suggérer ainsi au théoricien les lois de combinaison universellement valides en tant qu'opérations symboliques, ne respectant que les propriétés opératoires, quelles que soient les valeurs prises par les symboles,
- l'algèbre symbolique, « langage du raisonnement symbolique », « science des lois de combinaison », opérant sur des « symboles généraux dans leur forme comme dans leur valeur ».

Ici, l'opération n'est plus définie alors par ses résultats – qui relèvent de la contingence, comme en arithmétique – mais par ses propriétés, qui relèvent de la nécessité. Les résultats relèvent de la signification de l'opération, qualifiée ici d'interprétation, et deviennent logiquement secondaires. Cette hiérarchie est tout autant épistémologique que sociologique. Elle est parallèle à celle qu'établit *The Astronomical Society* entre les observateurs, les calculateurs et les astronomes, voire aux trois sections de la « manufacture des nombres ». C'est la raison majeure pour laquelle ce courant de pensée ne relève pas *stricto sensu* de la conceptualisation de l'algèbre comme étude des structures abstraites, même si elle en nourrira les développements. L'Algèbre Symbolique cherche avant tout à expliciter les fondements d'une conception algorithmique du calcul – voire des « opérations de l'esprit » –, manifeste chez Babbage comme chez Peacock⁴¹, et que leurs successeurs ne cesseront de mettre en avant⁴².

Là où la machine aux différences n'opérait que sur des additions, *The Analytical Engine* généralise aux quatre opérations de l'arithmétique cette séparation

41 Ivor Grattan-Guinness, « Charles Babbage as an algorithmic thinker », *Annals of the history of computing*, vol. 14, n° 3, 1992, pp. 34-48.

42 *Op. cit.*, n. 8.

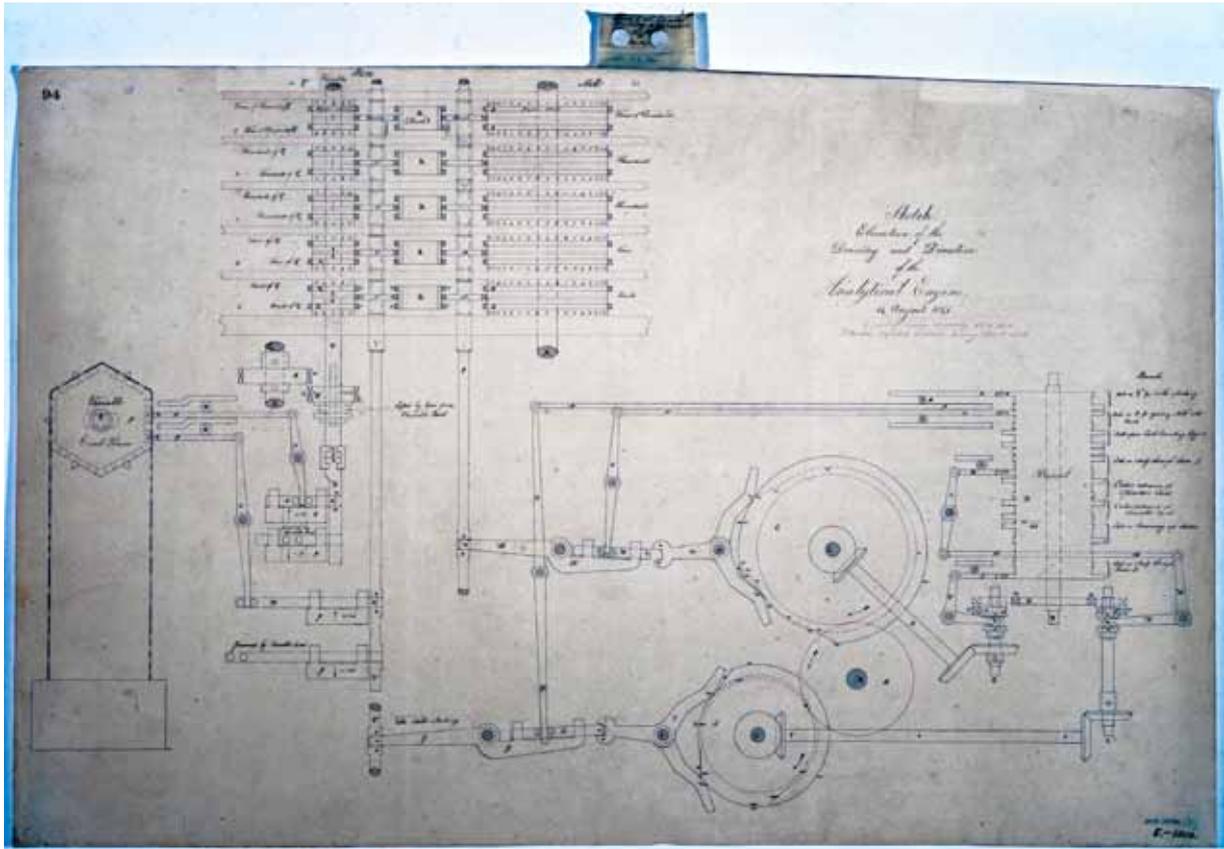


fig. 4 : Charles Babbage : Plan de l'appareillage de contrôle des opérations dans la machine analytique
Cliché n° 10324251, acheté à Londres au Science Museum/SSPL

entre les lois opératoires et le traitement des données. Elle apparaît ainsi comme une matérialisation de l'Algèbre Symbolique. Tout le champ de l'analyse mathématique se trouve ainsi susceptible de mécanisation. Les opérations sont directement matérialisées par l'organisation de la machine. Babbage la reconnaît dès 1837 comme une machine universelle, pouvant calculer les valeurs de n'importe quelle fonction :

« The Analytical Engine is therefore a machine of the most general nature. Whatever formula it is required to develop, the law of its development must be communicated to it by two sets of cards. When these have been placed, the engine is special for that particular formula. The numerical value of its constants must then be put on the columns of wheels below them, and on setting the engine in motion it will calculate and print the numerical results of that formula⁴³ ».

Les différentes étapes du processus opératoire sont matérialisées chacune par une partie de la machine. C'est ce qui porte les historiens à considérer cette « calculatrice mécanique automatique à programme externe » comme

préfigurant l'architecture von Neumann des ordinateurs : organes d'entrée-sortie, mémoire, unité de calcul, organe de commande – différents jeux de cartes perforées de type Jacquard constituant un programme externe – et dispositif de contrôle, dont les cylindres à picots peuvent être assimilés à des sous-ensembles micro-codés de programme interne⁴⁴. Mais c'est bien du principe de la division du travail que découle cette organisation. Seuls les organes principaux, à savoir l'unité de calcul et la mémoire, reçoivent un nom générique, et leurs noms – respectivement « the mill » (la manufacture) et « the store » (le magasin) – proviennent directement du monde industriel.

Babbage affirmera explicitement l'adéquation de cette organisation selon le principe de la division du travail avec la méthode de séparation des symboles d'opération et de quantité d'Arbogast :

« There are various methods by which these developments [of functions as infinite series] are arrived at :
1.- by the aid of the Differential and Integral Calculus.
2.- by the Combinatorial Analysis of Hindenburgh
3.- by the Calculus Derivation of Arbogast

43 Babbage's works, *op. cit.*, n. 17, vol. 11, pp. 89-90.

44 *Op. cit.*, n. 3.

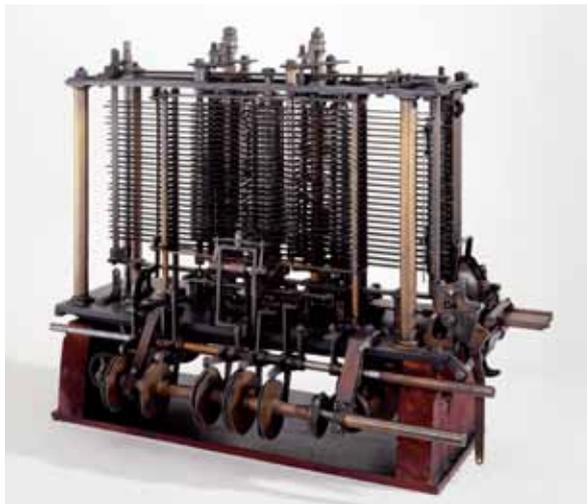


fig. 5 - Charles Babbage : Analytical Engine. Analytical Engine : partie de la « manufacture » (« the mill »), assemblée en 1871. Inv. n° 1878-0003, Cliché n° 10297676, acheté à Londres au Science Museum/SSPL.

Each of these systems professes to expand any function according to any laws. Theoretically each method may be admitted to be perfect: but practically the time and attention required are, in the greater number of cases, more than the human mind is able to bestow. Consequently, upon several highly interesting questions relative to the Lunar theory, some of the tables and most indefatigable of existing analysts are at variance.

The Analytical Engine is capable of executing the laws prescribed by each of these methods. [...] I have myself worked with the system of Arbogast, and if I were to decide from my own limited use of the three methods, I should, for the purpose of the Analytical Engine, prefer the *calcul des derivations* ». et d'ajouter : « The Analytical Engine contains the embodiment of that method: the separation of symbols of operation from those of quantity⁴⁵ ».

Cette adéquation n'échappera ni à l'ingénieur Luigi F. Menabrea ni à Lady Ada Lovelace, qui commenteront tous deux les possibilités de cette étonnante machine, l'un⁴⁶ en français dans la *Bibliothèque universelle de Genève* en 1842, après la présentation des plans qu'en a faite Babbage à Turin en 1840, l'autre dans sa traduction

45 Babbage's works, *op. cit.*, n. 17, vol. 11, p. 102-103. Duncan F. Gregory s'en réclame également en 1839-40 dans ses nombreux articles publiés dans le *Cambridge mathematical journal* qu'il vient de créer, et où il déploie les méthodes symboliques dans la résolution des équations différentielles.

46 Luigi F. Menabrea, « Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage », *Bibliothèque universelle de Genève*, t. xli, octobre 1842, dans *Babbage's Works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 3, pp. 80-81.

anglaise commentée de Menabrea en 1843. Le premier estime que cette machine peut être considérée « comme l'être qui exécute les conceptions de l'intelligence », tandis que la seconde insiste sur le caractère essentiellement symbolique des opérations de la machine :

« The engine might develop three sets of results simultaneously, viz. symbolic results; numerical results; and algebraical results in literal notation... But it would be a mistake to suppose that because its results are given in the notation of a more restricted science, its processes are therefore restricted to those of that science. The object of the engine is in fact to give the utmost practical efficiency to the resources of numerical interpretations of the higher science of analysis, whilst it uses the processes and combinations of the latter⁴⁷ ».

Pour chacun de ces commentateurs, comme pour les algébristes de Cambridge, « l'interprétation des formules et des résultats » échappe aux attributions de la machine, et la signification de l'opérateur s'étend à tout processus de transformation, bien au-delà du seul champ des mathématiques :

« By the word operation, we mean any process which alters the mutual relation of two or more things, whatever be this relation of what kind it may. This is the most general definition, and would include all subjects in the universe⁴⁸ ».

Quoi qu'il en soit des possibilités remarquables offertes par ces nouvelles conceptions de machines⁴⁹, le calcul des tables astronomiques est toujours en ligne de mire : Babbage fait allusion ci-dessus à la théorie lunaire, il s'en entretient avec Jacobi et Bessel au congrès de la *British Association for the Advancement of Science* à Manchester en 1842, et Lady Lovelace envisage d'appliquer la machine analytique à la résolution du problème des trois corps. L'astronomie continue de jouer un rôle majeur tout au long de ce processus de théorisation de l'algèbre et de mécanisation des calculs. Dans cette Angleterre pré victorienne en situation d'instabilité politique, l'astronomie est tout autant l'emblème de la philosophie naturelle, explicitant les lois de la stabilité du monde, que le fer de lance de la puissance militaire et commerciale.

47 Ada Lovelace, « Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage », *Scientific Memoirs*, 1843, 3, pp. 666-731, dans *Babbage's works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 3, pp. 89-170, p. 144. 48 *Ibid.*, p. 118, p. 155, p. 117.

49 La machine analytique ne sera pas réalisée, même si les plans sont suffisamment aboutis pour que Aspray estime cette réalisation possible. William Aspray éd., *Computing before Computers*, Ames Iowa, Iowa State University Press, 1990.

Et les méthodes de calcul sur lesquelles elle s'appuie, via la *Royal Astronomical Society*, inspirées par le modèle français, valent aussi bien pour le commerce et la *Royal Navy*. Aussi bien l'Algèbre Symbolique que les machines de Babbage signent la concrétisation de ces méthodes unificatrices, sous le double patronage du principe de la division du travail et de la compétition avec la France, et les auspices d'une discipline dont l'ancrage scientifico-philosophique permet d'augurer d'une stabilité, tant sociale qu'universelle.

« Déclin de la science anglaise » ou appel à la valorisation des scientifiques ?

Babbage est souvent présenté comme un personnage solitaire au caractère acariâtre vers la fin de sa vie. Cette aigreur tardive marque plutôt une déception profonde, celle d'un « polymath » réformateur libéral proche des Radicaux⁵⁰, qui n'est pas parvenu à faire reconnaître son programme de réforme dans toute son ampleur. Babbage ne cesse d'en appeler à l'encadrement de l'industrie par la science au niveau national, et à la pleine reconnaissance de l'importance de la science et des scientifiques par les autorités gouvernementales. Face à la *doxa* contemporaine assimilant le monde anglo-saxon au libéralisme, cette perspective est tellement inattendue qu'elle tend à passer inaperçue. Elle a donc besoin d'être soigneusement examinée. La science pour Babbage reste synonyme de philosophie naturelle : il ne s'agit pas de modéliser les phénomènes, mais d'approcher la vérité des lois de la nature en l'observant de la manière la plus précise possible. *Reflections on the decline of science in England, and on some of its causes* paraît en 1830, *On the economy of machines and manufactures*⁵¹ en 1832. Au-delà de la critique radicale du monopole de la *Royal Society*, et d'une analyse approfondie du monde industriel dont Karl Marx et de John Stuart Mill se nourriront⁵², se dessine dans ces deux ouvrages le tableau d'un monde organisé selon les principes de l'ambition baconnienne, sensible dans l'intitulé même de la *British Association for the Advancement of Science*, fondée à la même époque. Comme pour Bacon dans la *Nouvelle Atlantide*, les scientifiques sont au cœur de la cité : c'est sur eux que

50 *Op. cit.*, n. 3, pp. 10-13.

51 Une première version est parue en 1829 dans *Encyclopedia Metropolitana*.

52 Les chapitres « La division du travail et la manufacture » et « Le machinisme et la grande industrie » du *Capital* de Karl Marx sont nourris de l'analyse de Babbage sur les machines et les manufactures, et les *Principles of political economy* de John Stuart Mill s'appuient sur ses exemples. En moins de dix ans, cet ouvrage connaîtra plusieurs éditions et sera traduit en français, allemand, italien, espagnol et russe.

s'appuie la légitimité du pouvoir lorsque « knowledge is power ». Et la science apporte davantage de gages de stabilité sociale que l'industrie. C'est pourquoi Babbage s'applique à inventorier les exemples de la reconnaissance publique que rencontrent les scientifiques dans les pays d'Europe les plus dynamiques. C'est en France qu'il en trouve les manifestations les plus évidentes. Mais la France n'est pas la Grande-Bretagne, où révolution industrielle ne rime pas avec révolution politique. En Grande-Bretagne, le compromis est alors de rigueur. Aussi bien du côté des universités anglicanes que du côté d'un pouvoir aristocratique encore dominé par les valeurs de la propriété terrienne, les institutions vont peiner, voire tarder à s'adapter au dynamisme de la société civile.

Division du travail manuel et division du travail mental

La critique de Babbage obéit à un critère utilitariste essentiel, selon lequel toute institution est une émanation de la société et doit placer son efficacité au service du bonheur du plus grand nombre. Mais cette perspective est fort éloignée d'un quelconque état d'esprit révolutionnaire. Si Babbage va jusqu'à se présenter aux élections de 1832 sur une telle plateforme utilitariste, s'il partage les aspirations radicales des scientifiques italiens qu'il visite dans les années 1840, il se démarquera fermement des tendances socialistes après 1848, tout comme Menabrea, devenu premier ministre, s'éloignera de Garibaldi.

Ses nombreux voyages et contacts avec les scientifiques continentaux s'ouvrent tout autant au monde industriel que scientifique et politique. À Berlin en 1828, Babbage assiste avec admiration à l'inauguration de la *Deutsche Naturforscher Versammlung* en compagnie de A. von Humboldt, Gauss, Berzélius, Ærsted, et du roi de Prusse. Il s'en inspire directement pour la création de la *British Association*. De retour de Florence par la Suisse et la France en 1841, il visite notamment des entreprises textiles et mécaniques à Zurich et Mulhouse, et l'entreprise Schneider au Creusot, engagée dans la fabrication navale pour le gouvernement français.

Conjugée à cette attention constante pour les avancées techniques et les initiatives politico-économiques qui les encouragent sur le continent, l'étude de Babbage sur les machines et les manufactures cherche à systématiser la rationalisation du travail qu'il a pu observer dans les secteurs les plus dynamiques de l'industrie. Le principe de la division du travail est directement mobilisé pour définir une machine comme une combinaison d'opérations élémentaires. Et Babbage s'appuie sur la machine aux différences pour introduire, parallèlement à la « division

des opérations mécaniques » – celle de la fabrique d'épingles chère à Adam Smith – la « division des opérations mentales », à laquelle il consacre tout le chapitre 20.

« The effect of the division of labour, both in mechanical and in mental operations, is that it enables us to purchase and apply to each process precisely that quantity of skill and knowledge which is required for it: we avoid employing any part of the time of a man who can get eight or ten shillings a day by his skill in tempering needles, in turning a wheel, which can be done for six pence a day ; and we equally avoid the loss arising from the employment of an accomplished mathematician in performing the lowest processes of arithmetic⁵³ ».

Au premier abord, un tel parallélisme entre travail manuel et travail mental peut se lire comme une anticipation de la révolution informatique du XX^e siècle, qui conduit en effet à une réorganisation de l'économie toute entière sur la base de ce principe de division du travail mental. Mais, replacée dans son contexte – et en l'absence d'informatique !!! – cette analogie renvoie plutôt à un appel à une réorganisation globale du monde de l'entreprise sur le modèle de la machine. Comme le suggèrent plusieurs de ses critiques à l'égard du monde industriel lui-même, Babbage conçoit cette réorganisation comme coordonnée de l'extérieur. S'il s'exprime en véritable théoricien de l'analyse économique, c'est avant tout, et explicitement, pour sensibiliser la classe dirigeante traditionnelle à l'importance nouvelle du monde industriel, et l'initier à ses méthodes afin de pouvoir continuer à le gérer avec autant d'efficacité que d'harmonie. Cette harmonie n'est pas définie ici à partir de critères politiques, relatifs à l'équilibre des forces sociales en présence, mais de critères moraux, ceux de la théologie naturelle. Il s'agit de maintenir l'ordre « naturel » d'un monde toujours perçu comme pré-créé. Si Babbage mobilise le principe de la division du travail dans toute sa généralité, la relation tripartite qu'il établit entre industrie, science et pouvoir relève d'un ordre hiérarchique. Et la philosophie opératoire de Bacon, à laquelle il se réfère dès 1813, lui sert de support pour maintenir les prérogatives du pouvoir royal et législatif, pour peu qu'il soit guidé par la science. Les instances législatives se doivent donc d'investir les scientifiques de ce pouvoir, et partant de les reconnaître à leur juste valeur et de les honorer comme tels.

Quel que soit le dynamisme constaté du travail industriel, Babbage s'emploie donc à établir que la poursuite des progrès n'aura lieu que si l'organisation du monde

industriel se nourrit des sciences dures, en particulier des mathématiques, désormais soumises, grâce à leur expression symbolique, au principe unificateur de la division du travail :

« In reviewing the various processes offered as illustration of those general principles which it has been the main object of the present volume to support and establish, it is impossible not to perceive that the arts and manufactures of the country are intimately connected with the progress of the severer sciences; and that, as we advance in the career of improvement, every step requires, for its success, that this connection should be rendered more intimate⁵⁴ ».

Le développement de l'industrie s'étant jusque là bien peu nourri des développements scientifiques, cette déclaration de Babbage revient à demander que le monde industriel se range sous la dépendance du monde scientifique :

« The applied sciences derive their facts from experiment; but the reasoning, on which their chief utility depends, are the province what is called abstract science. It has been shown, that the division of labour is no less applicable to mental productions than to those in which material bodies are concerned; and it follows, that the efforts for the improvement of its manufactures which any country can make with the greatest probability of success, must arise from the combined exertions of all those most skilled in the theory, as well as in the practice of the arts; each labouring in that department for which his natural capacity and acquired habits have rendered him most fit⁵⁵ ».

Le gouvernement scientifique de la Maison de Salomon cher à Bacon n'est pas loin. Ce sont les conditions de sa mise en place que Babbage cherche à dégager de l'expérience dans sa critique de la *Royal Society*.

Industrie, science et pouvoir

Que ce soit en Grande-Bretagne ou sur le continent, Babbage entretient des relations suivies aussi bien avec le monde industriel qu'avec le monde politique. Il s'investit énergiquement dans les questions relatives à l'établissement des chemins de fer, tant en Grande-Bretagne qu'en Italie. Et à Londres, ingénieurs – Isambard K. Brunel, Henry Maudslay, John Rennie – et politiciens fréquentent les diners qu'il organise toutes les semaines dans sa maison de Dorset Street, dont la salle de dessin

⁵⁴ *Ibid.*, p. 261.

⁵⁵ *Ibid.*.

⁵³ *Babbage's works, op. cit.*, n. 17, vol. 8, p. 141.

est un haut lieu de rencontre de l'Europe libérale.

La critique que présente Babbage du fonctionnement de la *Royal Society* n'est pas exempte des luttes de pouvoir que mène la *Royal Astronomical Society*, non seulement pour la maîtrise du *Board of Longitudes*, mais pour celle de la *Royal Society*. Elle marque le point culminant d'une longue série d'attaques et déclenche un ouragan : Babbage est menacé d'expulsion et le président Davies Gilbert démissionne. Mais la sévérité de son analyse va bien au-delà d'une critique de fonctionnement. Babbage insiste sur le rôle essentiel que les politiques accordent aux scientifiques dans tous les pays économiquement les plus avancés : la Prusse, la Toscane et surtout la France. Des instituts polytechniques sont alors créés sur le continent pour la formation des ingénieurs, avec les mêmes ambitions polytechniques que l'école parisienne au moment de sa création. Dans cette perspective, Babbage voulait enseigner à Cambridge le contenu de son traité sur les manufactures, et Peacock visait sa mutation en université professionnelle. Mais ni l'un ni l'autre ne semblent prendre en considération le fait que, contrairement à la Grande-Bretagne, dans tous ces exemples continentaux, une recomposition politique fondamentale précède ou accompagne l'industrialisation du pays.

De plus, bien qu'elle ait été créée sur des critères baconiens en 1662 pour ce qui est de l'établissement d'une science fondée sur l'expérience, la *Royal Society* n'a pas les mêmes liens organiques avec le pouvoir politique que l'Académie des sciences en France. Ses membres, non rétribués par l'État, étudient la science en « gentlemen amateurs » et elle fonctionne plutôt comme un club aristocratique. Quoi qu'il en soit, le programme baconien n'accordait pas une place prépondérante aux mathématiques. Or, Babbage reprend à son compte la méthodologie de ce programme dans ses *Reflections* de 1830 : dresser l'état actuel de la science avec toutes ses lacunes, observer les faits, rechercher les lois, revenir aux actions que ces lois permettent d'exercer sur la nature. Mais il s'agit cette fois de réorganiser le programme autour des mathématiques, ce que la conception symbolique d'une algèbre fondée sur l'expérience rend désormais possible : partir de l'arithmétique ou plus généralement des données numériques, repérer les analogies opératoires et découvrir les formes symboliques ainsi suggérées, travailler sur ces formules générales de façon purement symbolique, et revenir aux interprétations possibles. Telle est la machine de guerre de l'assimilation et du dépassement de l'œuvre laplacienne, ainsi que de la compétition avec l'École polytechnique.

L'ambition compétitive avec le continent s'annonce dès

ses remarques introductives :

« It cannot have escaped the attention... that in England, particularly for the more difficult and abstract sciences, we are much below other nations, not merely in equal rank, but below several even of inferior power. That a country, eminently distinguished for its mechanical and manufacturing ingenuity, should be indifferent to the progress of enquiries which form the highest departments of that knowledge on whose more elementary truths its wealth and rank depend, is a fact which is well deserving the attention of those who shall enquire into the causes that influence the progress of nations⁵⁶ ».

ainsi que le terrain de cette compétition, la formation scientifique des classes dirigeantes :

« It is in some measure to be attributed to the defects of our system of education, that scientific knowledge scarcely exists among the higher classes of society. The discussions in the Houses of Lords or of Commons, which arise on the occurrence of any subjects connected with science, sufficiently prove the fact... There exists with us no peculiar class professedly devoted to science⁵⁷ ».

Babbage mène alors, sous forme de tableaux, une analyse comparative sur la façon dont les scientifiques sont reconnus et honorés sur le continent. Elle porte sur les responsabilités politiques des scientifiques, la proportion entre membres nationaux et étrangers de chaque académie, et les marques honorifiques qui leur sont accordées⁵⁸. Concernant l'investissement politique, Laplace est le premier d'entre eux, et les mathématiques y sont particulièrement à l'honneur. Ces tableaux font apparaître à l'évidence combien les relations sont distendues entre le pouvoir politique et la *Royal Society*, et combien celle-ci manque alors d'ouverture sur l'étranger. Babbage en appelle de fait, sinon à un gouvernement de la science, du moins à un pouvoir politique qui tire son autorité de l'apport des scientifiques :

« The maxim that 'knowledge in power' can be perfectly comprehended by those only who are themselves well versed in science; and to the circumstance of the younger branches of the royal family of Prussia having acquired considerable knowledge in such subjects, we may attribute the great force with which that maxim is appreciated⁵⁹ ».

56 *Babbage's works, op. cit.*, n. 17, vol. 7, p. 1.

57 *Ibid.*, pp. 4-6.

58 Voir annexe 1.

59 *Babbage's works, op. cit.*, n. 17, vol. 7, p. 6.

Ce qui suppose que le gouvernement prenne en charge la rétribution de l'activité scientifique, idée que Babbage reprendra dans son traité sur les manufactures :

« The discovery of the great principles of nature demands a mind almost exclusively devoted to such investigations; and these, in the present state of science, frequently require costly apparatus, and exact an expense of time quasi incompatible with professional avocations. It becomes, therefore, a fit subject for consideration, whether it would not be politic in the State to compensate for some of those privations, to which the cultivators of the higher departments of science are exposed; and the best mode of effecting this compensation, is a question which interests both the philosopher and the statesman⁶⁰ ».

Il est clair que Babbage s'inspire ici de sa situation personnelle, puisque la fortune héritée de son père banquier lui a permis d'investir l'ensemble de ses activités à l'élaboration de ses machines. Babbage en appelle ici à une réorganisation des relations entre l'industrie, la science, et le pouvoir, fondée sur un programme baconien ayant réintégré les mathématiques en son sein, et où l'État s'appuierait sur la science, c'est-à-dire sur la philosophie naturelle, pour stabiliser le monde industriel.

Conclusion

Au vu de l'ensemble des écrits et des réalisations mécaniques de Babbage, le déclin que Babbage impute à la science anglaise est envisagé à partir d'une volonté beaucoup plus générale de réorganisation des institutions scientifiques anglaises. Il y contribuera d'ailleurs très efficacement au sein du « network de Cambridge ». Cette volonté est d'abord motivée par le souci collectif de ce réseau de voir la classe dirigeante intégrer les valeurs d'efficacité issues de la révolution industrielle. Mais dans ce même projet, la science apparaît comme un rempart face

aux désordres sociaux que provoque l'industrialisation du pays. Pour Babbage, cette science demeure dans le cadre d'une philosophie naturelle dont les mathématiques explicitent les principes et dont l'astronomie persiste à offrir une représentation de l'harmonie du monde. Le principe de la division du travail, développé tous azimuts, y compris en mathématiques, autorise une unification des méthodes d'analyse qui répond totalement à ces critères d'efficacité. Babbage envisage ainsi une rationalisation systématique de la science comme de l'industrie à partir de ces méthodes, dans un effort de coordination qui ne peut provenir pour lui que d'un pouvoir central. Babbage n'envisage pas les interactions constructives possibles entre théorie et pratique, ni entre science et industrie. Son projet est fortement imprégné de la philosophie baconienne, où le pouvoir – dont la légitimité n'est pas remise en cause – s'appuie sur la science pour une gestion optimale de l'expérience. Mais paradoxalement, ce sont les institutions scientifiques issues de la Révolution française qui concrétisent le mieux ses aspirations. Babbage se situe ici également sur le terrain de la compétition scientifique entre la Grande-Bretagne et la France, où l'œuvre de Laplace offre la représentation la plus synthétique de cette philosophie naturelle, tant sur le plan des contenus que sur le plan des méthodes.

Cette unité profonde de la démarche de Babbage passe en général inaperçue, et ce pour au moins deux raisons. D'une part, son travail sur les machines est appréhendé à l'aulne des développements bien postérieurs en informatique, au détriment de ses analyses sur les mathématiques et sur l'économie. Mais surtout, l'identification du monde anglo-saxon comme terre du libéralisme fait écran à son appel systématique à un pouvoir central coordinateur. Pas plus en 1830 qu'à la fin de sa vie, les préoccupations de Babbage ne sont pourtant singulières. Son appel sera repris dans les années 1860 par le X-club, qui prônera la valorisation des carrières scientifiques par l'État, et l'ouverture sur l'étranger, après l'intervention de l'État pour valoriser les carrières scientifiques après la piètre performance de l'industrie britannique à l'Exposition Universelle de Paris en 1867.

60 *Babbage's works, op. cit.*, n. 17, vol 8, pp. 261-262.

Annexe 1

L'étude comparative de Babbage sur le statut des hommes de sciences en Grande-Bretagne et sur le continent⁶¹

Country	Name	Departement of Science	Public Office
France	Marquis Laplace	Mathematics	President of the Conservative Senate
France	M. Carnot	Mathematics	Minister of War
France	Count Chaptal	Chemistry	Minister of the Interior
France	Baron Cuvier	Comparative Anatomy Natural History	Minister of Public Instruction
Prussia	Baron Alexander Humboldt	Oriental Languages	Ambassador to England
Prussia	Baron Alexander Humboldt	The celebrated traveller	Chamberlain to the King of Prussia
Modena	Marquis Rangoni	Mathematics	Minister of Finance and of Public Instruction, President of the Italian Academy of Forty
Tuscany	Count Fossombroni	Mathematics	Prime Minister of the Grand Duc Tuscany
Saxony	M. Lindenau	Astronomy	Ambassador

Country	Population	Number of Members of Academy	Number of Foreign Members
England	22 229 000	685	50
France	32 058 000	75	100 Members, 8 Correspondents
Prussia	12 415 000	38	16
Italy	12 000 000	40	12

Number of the Members of the Institute French Legion Honneur		Total Number of Each Class
Grand Croix	3	80
Grand Officier	3	160
Commandeur	4	400
Officier	17	2 000
Chevalier	40	Not limited
Number of the Members of the Institute decorated with the Order of St Michel		Total number of that order
Grand Croix	2	100
Chevalier	7	

Annexe 2

L'admiration de George Peacock en 1833 pour les structures d'enseignement supérieur en France

« The elementary works on algebra and on all other branches of analytical and physical science which have been published in France since the period of

the Revolution, have been very extensively used, not merely in this country, but in almost every part of the continent of Europe where the French language is known and understood. The great number of illustrious men who took part in the lectures at the Normal and

⁶¹ Babbage's *Works*, *op. cit.*, n. 17, vol. 7, pp. 13-17.

Polytechnic Schools at the time of their first institution and the enlarged views which were consequently taken of the principles of elementary instruction and of their adaptation to the highest development of the several sciences to which they lead, combined with the powerful stimulus given to the human mind in all ranks of life, in consequence of the stirring events which were taking place around them, at once placed the scientific education of France immensely in advance of that of the rest of Europe. The works of Lagrange, particularly his *Calcul des Fonctions* and his *Théorie des Fonctions Analytiques*, which formed the substance of lectures given at the *École Polytechnique*, exhibited the principles of the differential and integral calculus in a new light, and contributed, in connexion with his numerous other works and memoirs, which are unrivalled for their general elegance and fine philosophical views, to familiarize the French student with the most perfect forms and with the most correct and at the same time most general principles of analytical science. The labours of Monge also, upon the application of algebra to geometry, succeeded in bringing all the relations of space, with which every department of natural philosophy is concerned, completely under the dominion of analysis, and thus enabled their elementary and other writers to exhibit the mathematical principles of every branch of natural philosophy under analytical and symmetrical forms. Laplace himself gave lectures on the principles of arithmetic and of algebra, which appear in the *Séances de l'École Normale* and in the *Journal de l'École Polytechnique*, and there are very few of the illustrious men of science, of that or of a subsequent period, who have done so much honour to France, who have not been more or less intimately associated with

carrying on the business of national education in its highest departments. The influence of such men has been felt not merely in the very general diffusion of scientific knowledge in that great nation, but also in the form and character of their elementary books, which are generally remarkable for their precision and clearness of statement, for their symmetry of form, and for their adaptation to the most extensive development of the several sciences upon which they treat.

The elementary works of M. Lacroix upon almost every department of analytical science have been deservedly celebrated : they possess nearly all the excellences above enumerated as characteristic of French elementary writers, and they are also remarkable for the purity and simplicity of the style in which they are written. The *Cours de Mathématiques Pures* of M. Francœur possesses merits of a similar kind, being too much compressed, however, for the purposes of self-instruction, though well adapted to form a basis for the lectures of a teacher. The works of M. Garnier are chiefly valuable for their careful illustration of, and judicious selection from, the writings of Lagrange, and are well calculated to make the general views and principles of that great analyst and philosopher familiar to the mind of a student. The *Arithmetic, Algebra, and Application of Algebra to Geometry*, of M. Bourdon are works of more than ordinary merit, and present a very clear and fully developed view of the elements of those sciences. Many other works have been published of the same kind and with similar views by Reynaud, Boucharlat and other writers⁶² ».

62 *Op. cit.*, n. 41, p. 286.