Ada Lovelace et le premier programme informatique

Culture Sciences de l'Ingénieur

Emmanuelle BARBOT – Hélène HORSIN MOLINARO

Édité le 28/03/2024

école normale supérieure paris—saclay

Au milieu du XIXe siècle, une jeune femme, Ada Lovelace, s'attachant à traduire en anglais l'article *Notions sur la machine* de *M. Charles Babbage* de Luigi Menabrea[1], l'enrichit largement et envisage une machine universelle programmable pouvant exécuter une série illimitée de tâches interchangeables ; elle propose un algorithme de programme dans lequel apparait pour la première fois une boucle conditionnelle, véritable concept informatique.

Mais qui est Ada Lovelace ? En quoi a-t-elle été pionnière en informatique ?

Figure 1 : Portrait de Ada Lovelace en 1838, 23 ans, par Alfred Edward Chalon[2], source [1]

Cette ressource propose de parcourir la courte vie d'Ada Lovelace, et de s'attarder en particulier sur ses travaux de programmation après sa rencontre avec Charles Babbage inventeur de machines à calculer.

1 - La courte vie d'Ada Byron-King-Lovelace (1815-1852) [2,3,4,5,6,7,8,9]

George Gordon Byron, Lord Byron 6e du nom (1788-1824), poète britannique à la vie tumultueuse épouse le 2 janvier 1815, Anne Isabella ou Annabella Milbanke (1792-1860) qu'il surnommait *la mathématicienne* ou *la Princesse des parallélogrammes*. Annabella Milbanke était une femme cultivée et passionnée par les mathématiques.

[1] Luigi Federico Menabrea (1809-1896), ingénieur militaire et mathématicien mais aussi diplomate et homme d'état italien. Il est né à Chambéry dans une famille francophone.
[2] Alfred Edward Chalon (1780-1860), peintre portraitiste suisse exerçant à Londres

De ce mariage est née Augusta Ada Byron le 10 décembre 1815 à Londres. Elle est la seule fille légitime du poète Byron que son épouse quitte assez rapidement en janvier 1816, soit un an après leur mariage. En février 1816, une séparation à l'amiable est entamée, Lord Byron la signe en avril 1816 et, couvert de créances, quitte le Royaume-Uni pour l'Europe : Belgique, Suisse, Italie, Grèce. Il meure du paludisme à Missolonghi en Grèce le 19 avril 1824 à 36 ans.

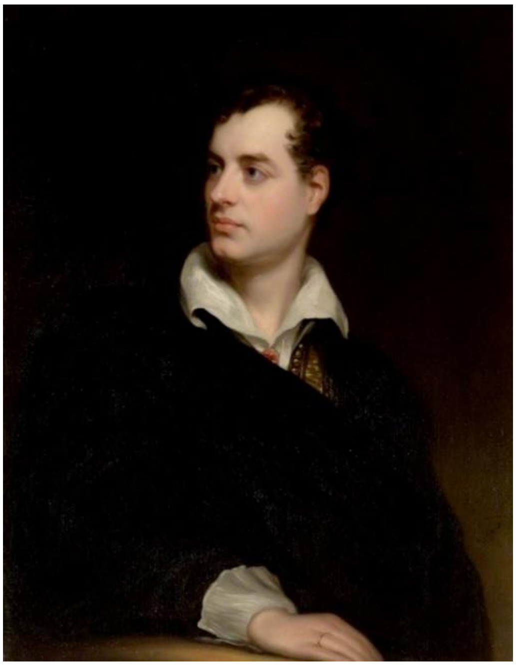



Figure 2 : Portraits d'Annabella Milbanke en 1812, par Charles Hayter[3], et de Lord Byron en 1813, par Thomas Phillips[4], sources [10,11]

La petite Ada Byron vit avec sa mère qui s'attache à lui donner une éducation approfondie en sciences et particulièrement en mathématiques, ce qui n'est pas l'usage pour une jeune fille de la noblesse dans l'Angleterre du XIXe siècle.

En 1832, Mary Somerville, scientifique écossaise reconnue, enseigne les mathématiques à la jeune Ada Byron. En juin 1833, Mary Somerville présente Ada Byron, 17 ans, à Charles Babbage qui dira de la jeune fille : *Cette enchanteresse des nombres a jeté son sort magique autour de la plus abstraite des sciences et l'a saisie avec une force que peu d'intellects masculins – dans notre pays au moins – auraient pu exercer*. De cette rencontre va naître l'origine de la science informatique dont nous allons parler dans la suite de ce document.

En 1835, à 20 ans, Ada Byron épouse William King-Noel (1805-1893) qui devient vicomte Okham et comte de Lovelace en 1838. Ainsi elle devient Augusta Ada King comtesse de Lovelace, ou plus simplement, Ada Lovelace ; nous verrons que son époux ne l'a pas brimée, bien au contraire, dans ses activités mathématiques. De cette union sont nés une fille et deux garçons : Byron (1836-1862), Annabella (1837-1917) et Ralph (1839-1906). En 1839, à 24 ans, Ada revient aux études par l'enseignement d'Auguste de Morgan[5] éminent mathématicien et logicien britannique et grand pédagogue. Ada Lovelace meurt d'un cancer le 27 novembre 1852 à Londres, elle n'a pas 37 ans.

Avant de présenter les travaux d'Ada Lovelace liés à ceux de Charles Babbage, nous proposons de parler de Mary Somerville qui les a présentés l'une à l'autre et qui est une scientifique majeure de l'Angleterre de la première moitié du XIXe siècle.

[3] Charles Hayter (1761-1835), peintre britannique, portraitiste de miniatures
[4] Thomas Phillips (1770-1845), peintre portraitiste britannique
[5] Auguste de Morgan (1806-1871), mathématicien et logicien britannique

2 - La longue vie de Mary Somerville (1780-1872) [12,13,14,15]

Mary Fairfax est la fille de Sir William Georges Fairfax (1738-1813) et de Margaret Charters (1714-1772). Cinquième enfant d'une fratrie de sept dont quatre survivront, Mary Fairfax nait le 26 décembre 1780 à Jedbourgh en Écosse dans le presbytère où habite la sœur de sa mère, Martha Charters mariée au révérend Thomas Somerville ; ils ont trois enfants, nous reparlerons de l'un d'eux, William.

Contrairement à l'éducation de ses frères, celle de Mary Fairfax et de sa sœur Margaret est très limitée, elles apprennent à lire par leur mère mais ne savent pas écrire. Mary Fairfax est âgée de 10 ans lorsqu'elle est envoyée au pensionnat pour filles de Miss Primrose à Musselburgh près d'Édimbourg durant une année. Elle apprend à écrire, un minimum d'arithmétique et quelques rudiments de français. Afin de se distraire, Mary Fairfax lit nombre d'ouvrages et apprend le latin « pour s'occuper » ; s'en rendant compte, son oncle le révérend Thomas Somerville l'y aidera.

Mary Fairfax est ensuite envoyée dans une école pour parfaire l'éducation d'une jeune fille telle qu'attendue dans cette fin du XVIIIe siècle : enseignement de la couture, du piano et du dessin ! Lors de l'enseignement du dessin, le professeur Alexander Nasmyth[6] mentionne que *Les Éléments d'Euclide* permettent la compréhension de la perspective, de l'astronomie et autres sciences. Le précepteur de ses frères, dont la jeune fille écoute les leçons en étant plus réceptive et brillante que ses frères, lui enseigne officieusement les mathématiques, *Les Éléments* mais aussi l'algèbre. Ses parents tentent en vain de stopper ses études, mais, en secret, Mary Fairfax continue d'étudier les mathématiques y consacrant tout le temps possible.

En 1804, elle épouse Samuel Greig (1778-1807) officier dans la marine russe, cousin éloigné du coté de sa mère, qui n'approuve pas le goût de son épouse pour les sciences. Le couple vit à Londres lorsque Samuel Greig devient consul de Russie en Angleterre, mais il meurt brutalement en 1807.

De retour en Écosse, Mary Greig, à l'abri financièrement, peut à nouveau se consacrer à ses études scientifiques. Elle évolue dans un milieu d'intellectuels lui permettant de rencontrer John Playfair[7], professeur de philosophie naturelle à Édimbourg et nouvellement membre de la Royal Society[8], William Wallace[9], alors professeur de mathématiques au Collège militaire royal de Great Marlow qui lui fait découvrir les problèmes posés dans le *Mathematical Repository*[10], l'ouvrage *Philosophiæ naturalis principia mathematica* d'Isaac Newton[11] ainsi que le *Traité de Mécanique Céleste* de Pierre-Simon Laplace[12]. Mary Greig plonge également dans les langues, la botanique et la géologie. Son cousin William Somerville (1771-1860), fils de Martha Charters et du révérend Thomas Somerville, médecin et inspecteur des hôpitaux, fait également partie de ce cercle et en 1812, à 32 ans, elle l'épouse. William, cultivé et ouvert, ne l'empêche pas de poursuivre ses travaux.

[6] Alexander Nasmyth (1758-1840), peintre écossais
[7] John Playfair (1748-1819), scientifique écossais, premier président de l'Astronomical Institution of Edinburgh
[8] Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge (Société royale de Londres pour l'amélioration des connaissances naturelles), société savante fondée en 1660
[9] William Wallace (1768-1843), mathématicien écossais, professeur à la chaire de mathématiques d'Edimbourg en 1819
[10] Périodique de mathématiques publié de 1795 à 1835 proposant des articles originaux, des traductions d'articles étrangers ainsi que des questions et réponses
[11] Isaac Newton (1642-1727), mathématicien, physicien et astronome anglais ; son ouvrage majeur *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* est publié en latin à Londres en 1687
[12] Pierre-Simon Laplace (1749-1827), mathématicien, physicien et astronome français ; le *Traité de mécanique céleste* est publié en cinq volumes, les deux premiers en 1799, les deux suivants en1802 et 1805, le dernier en 1825

En 1816, William Somerville est promu inspecteur au Conseil médical de l'armée et est membre de la Royal Society. Á Londres, le couple évolue dans un cercle intellectuel des plus brillants, fréquentant des scientifiques britanniques reconnus comme William et John Herschel[13], ainsi que les scientifiques européens de passage. Le couple Somerville voyage également, permettant à Mary l'accès aux plus grandes bibliothèques. En Europe, en 1817, ils rencontrent Jean-Baptiste Biot[14], François Arago[15], Siméon Denis Poisson[16] et Pierre-Simon Laplace[17] avec qui Mary Somerville entretient alors une importante correspondance scientifique.

En 1825, Mary Somerville entreprend des expériences sur le magnétisme, ses résultats sont présentés l'année suivante dans une note à la Royal Society *On the magnetizing power of the more refrangible solar rays*. C'est une note qui peut être qualifiée d'historique puisque faisant partie des premiers articles rédigés par une femme et publiés dans les *Philosophical Transactions of the Royal Society*[18], comme également les travaux de Caroline Herschel[19]. Cette même année 1826, à l'initiative de Lord Henry Brougham[20] est créée la *Society for the Diffusion of Useful Knowledge (SDUK)* qui a pour but de publier des documents scientifiques vulgarisés.

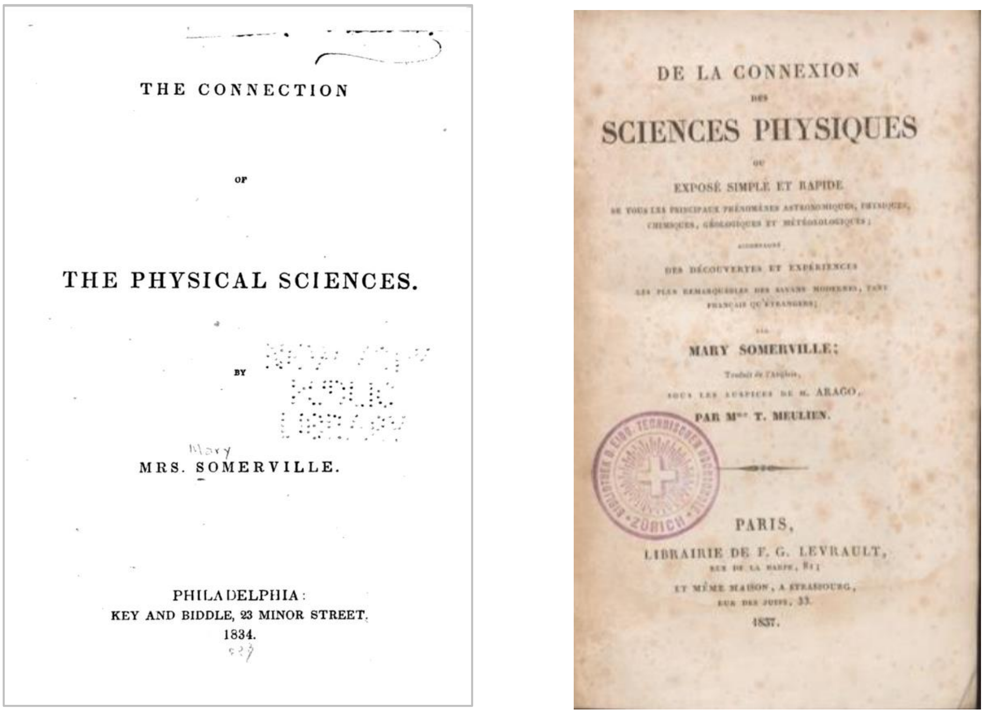
En 1827, à la demande de la *SDUK*, Mary Somerville commence la traduction du *Traité de Mécanique Céleste* de Pierre-Simon Laplace. C'est un travail considérable puisqu'il ne s'agit pas d'une simple traduction mais également d'un exposé du calcul différentiel et intégral, notions utilisées par Laplace et quasi inconnues des mathématiciens britanniques de cette époque. Le travail de Mary Somerville est si considérable, la traduction est enrichie de nombreux exemples pédagogiques, qu'il ne peut pas être publié par la *SDUK*. *The Mechanism of Heaven* est publié en 1831 par l'éditeur John Murray, rendant ainsi accessible l'ouvrage du savant français. L'accueil de *The Mechanism of Heaven* est considérable, Mary Somerville acquiert une grande notoriété dans les milieux scientifiques, elle est âgée de 51 ans. C'est à cette période que Mary Somerville enseigne les mathématiques à Ada Lovelace et lui fait rencontrer Charles Babbage.

En 1834, Mary Somerville publie *On the Connections of Physical Sciences*, véritable encyclopédie de la physique qui reçoit un accueil éclatant. L'ouvrage est publié en français, allemand et italien, les neuf rééditions suivantes sont mises à jour par Mary Somerville en particulier sur les travaux d'Urbain Le Verrier[21] concernant la présence d'une planète inconnue perturbant la trajectoire d'Uranus (prélude de la découverte de Neptune en 1846). Cette même année, Mary Somerville est membre honoraire de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève et également membre de la Royal Irish Academy. En 1835, Mary Somerville est élue à la Royal Astronomical Society, devenant ainsi avec Caroline Herschel les premières femmes élues. François Arago, avec qui Mary entretient une correspondance, publie dans les comptes rendus de l'Académie des sciences en 1836, une lettre de Mme Somerville : *Expériences sur la transmission des rayons du spectre solaire à travers différents milieux*.

---

[13] William (1738-1822) et John (1792-1871) Herschel, père et fils, astronomes britanniques. William est le découvreur d'Uranus en mars 1781 ; John reçu médaille d'or de la Royal Astronomical Society en 1826
[14] Jean-Baptiste Biot (1774-1862), physicien, astronome et mathématicien français
[15] François Arago (1786-1853), astronome et physicien français, professeur à l'École polytechnique
[16] Siméon-Denis Poisson (1781-1840), mathématicien et physicien français
[17] Pierre-Simon Laplace (1749-1827), mathématicien, astronome et physicien français
[18] Revue scientifique publiée par la Royal Society de Londres, créée en 1665
[19] Caroline Herschel (1750-1848), astronome allemande découvreuse de 8 comètes, médaille d'or de la Royal Astronomical Society en 1828
[20] Henry Peter Brougham (1778-1868), homme politique et écrivain écossais ; également à l'origine de l'engouement des britanniques pour la ville de Cannes
[21] Urbain Le Verrier (1811-1877), astronome et mathématicien français, découvreur de Neptune en septembre 1846

Figure 3 : Portrait de Marie Somerville en 1834, 54 ans, par Thomas Philipps, source [16]



THE CONNECTION
OF
THE PHYSICAL SCIENCES.
BY
MRS. SOMERVILLE.
PHILADELPHIA:
KEY AND BIDDLE, 23 MINOR STREET.
1834.

DE LA CONNEXION
DES
SCIENCES PHYSIQUES
OU
EXPOSÉ SIMPLE ET RAPIDE
MARY SOMERVILLE;
PAR Mme T. MEULIEN.
PARIS,
LIBRAIRIE DE F. G. LEVRAULT,
1837.

Figure 4 : On the Connections of Physical Sciences publié en 1834, on peut le feuilleter en anglais sur [17] ; De la connexion des sciences physiques publié en 1837, on peut le feuilleter en français sur [18]

À partir de 1838, le couple Somerville vit en Italie, Mary y rédigera *Physical Geography*, publié en 1848, qui sera un manuel de référence dans les écoles et universités pour plusieurs décennies. En 1868, elle signera la pétition de John Stuart Mill[22] pour le suffrage des femmes, en défenseuse de l'éducation des filles. Le dernier ouvrage de Mary Somerville est *Molecular and Microscopic Science* est publié en 1869, elle est alors âgée de 89 ans. Son époux est décédé en 1860 à Florence. Mary Somerville meurt à Naples en 1872, à 91 ans, elle préparait un travail sur les quaternions, découverts par William Rowan Hamilton[23] en 1843. Elle est enterrée au cimetière anglais de Naples.

[22] John Stuart Mill (1806-1873), philosophe et économiste britannique, auteur de l'essai *De l'assujettissement des femmes* en 1869, défendant l'émancipation des femmes et prônant le suffrage universel
[23] William Rowan Hamilton (1805-1865), mathématicien, physicien et astronome irlandais

Mary Somerville est donc l'initiatrice de la rencontre de la toute jeune Ada Byron avec Charles Babbage en juin 1833. Avant de développer leurs travaux, nous allons maintenant le présenter.

3 - Quelques mots sur la vie de Charles Babbage (1791-1871) et ses machines à calculer [6,19,20,21]

Charles Babbage est né le 26 décembre 1791 à Londres dans un milieu aisé lui permettant d'étudier, en particulier les mathématiques. Il est diplômé de Cambridge à 23 ans en 1814. Charles Babbage est élu membre de Royal Society de Londres en 1816, de la Royal Society d'Edimbourg en 1820, année où il contribue à la fondation de la Royal Astronomical Society, il en sera secrétaire les quatre premières années. C'est également à cette époque que Charles Babbage se passionne pour les machines à calculer. Au décès de son père en 1827, il est alors à l'abri de problèmes financiers et se consacre à toutes sortes d'inventions dont la machine à différence qui nous intéresse ici. Charles Babbage meurt à Londres en 1871 à presque 80 ans.

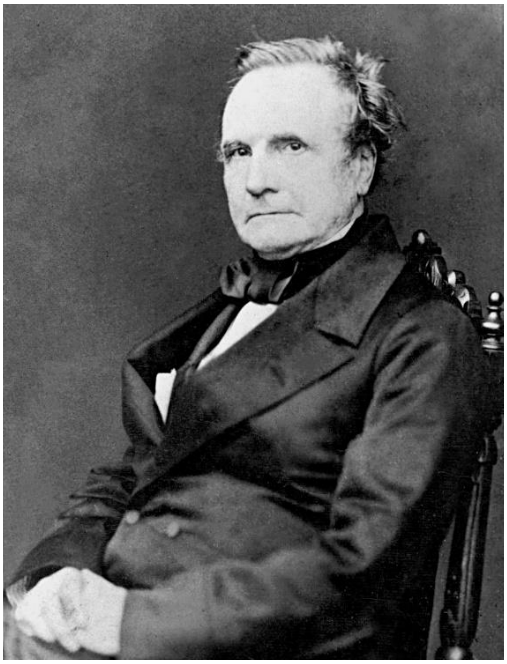


Figure 5 : Charles Babbage en 1860 (69 ans), source [22]

Très jeune, Charles Babbage cherche à imaginer une machine qui pourrait concevoir des tables de calculs nautiques, astronomiques et mathématiques exactes, sans erreurs, ce que l'humain ne peut faire ; ces erreurs entrainant des accidents de navigation par exemple.

Un premier modèle de machine à différences est présenté en 1821 à la toute nouvelle Royal Astronomical Society. Le nom de cette machine vient de la méthode utilisée pour calculer des polynômes (voir encadré ci-après). Le projet étant approuvé par la Royal Astronomical Society, le gouvernement britannique octroie à Babbage, en 1823, une bourse afin de développer la construction de la machine. Celle-ci ne verra jamais le jour, Charles Babbage faisant constamment évoluer les plans pendant une dizaine d'années ; de plus les frottements au sein des pièces mécaniques génèrent des vibrations et des blocages des mouvements. À la mort de Babbage, un de ses fils Henry, a hérité des pièces en laiton usinées par Joseph Clement[24]. Il entreprend alors d'assembler des sections de la machine, une partie est conservée au *Whipple Museum of the History of Science* de l'université de Cambridge (figure 6).

[24] Joseph Clement (1779-1844), ingénieur et industriel britannique

Figure 6 : Une partie de la machine à différences, pièces produites du temps de Charles Babbage et assemblées par la suite par son fils Henry, source [23]

La machine à différences : L'explication de son fonctionnement est extraite, sans modification, de l'article de Luigi Menabrea *Notions sur la machine* de *M. Charles Babbage* (1842) [24].

[…] Mr. Charles Babbage a consacré plusieurs années à réaliser une pensée gigantesque. Il ne s'est proposé rien moins que de construire une machine capable d'exécuter, non-seulement les calculs arithmétiques ; mais encore les calculs analytiques, dont les lois seraient connues[25]. L'imagination est d'abord effrayée d'une telle entreprise, mais à mesure que l'on réfléchit avec plus de calme, le succès en paraît moins impossible, et l'on sent qu'il peut dépendre de la découverte de quelque principe, assez général pour que, si on l'applique à la machine, celle-ci soit capable de traduire mécaniquement les opérations qui lui seraient indiquées par l'écriture algébrique. L'illustre inventeur, lors d'un voyage qu'il fit à Turin, ayant bien voulu me communiquer quelques unes de ses considérations à cet égard, je viens, avec son consentement, rendre compte des impressions qu'elles ont produites dans mon esprit. On ne doit point s'attendre à trouver ici une description de la machine de Mr. Babbage : elle exigerait de longues études pour être comprise, mais je tâcherai d'en faire saisir le but et d'exposer les principes sur lesquels est fondée son exécution.

D'abord je dois prévenir qu'elle est entièrement différente de celle dont on trouve un aperçu dans le traité de l'Economie des machines du même auteur. Mais, comme cette dernière a fait naître la pensée de la machine en question, je crois qu'il est utile, avant tout, de rappeler en peu de mots quelles ont été les premières tentatives de Mr. Babbage, et quelles sont les circonstances qui y ont donné lieu.

On sait que le gouvernement français, voulant faciliter l'extension du système décimal, avait ordonné de construire des tables logarithmiques et trigonométriques d'une étendue immense, Mr. de Prony, qui avait été chargé de la direction de cet ouvrage, le répartit en trois sections, à chacune desquelles furent appliqués des hommes spéciaux. Dans la première section l'on combinait les formules de manière à les rendre propres aux calculs arithmétiques ; dans la deuxième, ces mêmes formules étaient calculées pour des valeurs de la variable, prises de distance en distance ; enfin dans la troisième section, composée de près de 80 individus, qui pour la plupart ne connaissaient que les deux premières règles de

[25] Notes des rédacteurs : Menabrea parle là de la *machine analytique*, sujet de son article de 1842

l'arithmétique, on interpolait, au moyen de simples additions ou soustractions, des valeurs intermédiaires à celles qui étaient calculées par la 2e sect.

Un travail analogue à celui que nous venons de citer ayant dû se répéter en Angleterre, Mr. Babbage pensa que les opérations faites par la troisième section pouvaient être exécutées par une machine, et c'est ce qu'il a réalisé au moyen d'un mécanisme dont une partie a été confectionnée, et que l'on peut appeler machine aux différences à cause du principe sur lequel elle est fondée. Pour en donner une idée, il suffira de considérer la série des nombres carrés entiers : 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, etc. En faisant la différence de chacun de ces nombres avec le suivant, on aura une nouvelle série que nous appellerons série des différences premières, composée des nombres : 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, etc. Si l'on soustrait de chacun de ces nombres son précédent, l'on obtiendra les différences deuxièmes, qui sont toutes constantes et égales à 2. La suite de ces opérations et des résultats auxquels elles conduisent peut être représentée par le tableau suivant :

D'après la manière dont les deux dernières colonnes B et C ont été formées, il est facile de voir que, voulant, par exemple, passer du nombre 5 au suivant 7, il faudra ajouter au premier la différence constante 2 ; de même, si du carré 9 on veut passer au suivant 16, on ajoutera au premier la différence 7, ou en d'autres termes, la différence précédente 9, plus la différence constante 2 ; ou bien encore, ce qui revient au même, pour avoir le nombre 16, il suffira de sommer ensemble les trois nombres 2, 5 et 9, placés dans la direction oblique *a b*. D'une manière analogue, on obtiendra le nombre 25 en sommant ensemble les trois nombres placés dans la direction oblique *d c* : en commençant par la somme 2 + 7, on a la différence première 9, consécutive à 7 ; en y ajoutant 16, on aura le carré 25. On voit donc, qu'étant donnés les trois nombres 2, 5 et 9, toute la série des nombres carrés suivants, ainsi que celle de leurs différences premières, pourra s'obtenir par de simples additions.

	A Colonne des nombres carrés.	B Différences premières.	C Différences deuxièmes.	
	1			
	. . . .	3		
	4	. . . .	2	*b*
	. . . .	5		
a	9	. . . .	2	*d*
	. . . .	7		
c	16	. . . .	2	
	. . . .	9		
	25	. . . .	2	
	. . . .	11		
	36			

Maintenant, pour concevoir comment ces opérations peuvent être reproduites par une machine, supposons que celle-ci ait trois cadrans que nous désignerons par *A*, *B*, *C*, et sur chacun desquels soient tracées mille divisions, par exemple, qui seront Parcourues par une aiguille. Les deux cadrans *C* et *B* auront, en outre, chacun une sonnerie qui battra un nombre de coups égal à celui des divisions indiquées par l'aiguille. Pour chaque coup du compteur du cadran *C* l'aiguille *B* devra avancer d'une division ; il en sera de même de l'aiguille *A*, qui avancera d'une division pour chaque coup du cadran *B*. Telle est la disposition générale du mécanisme. Cela posé, au commencement de la série d'opérations que nous voulons exécuter, mettons l'aiguille *C* sur la division 2, l'aiguille *B* sur la division 5, et l'aiguille *A* sur la division 9. Faisons sonner le compteur du cadran *C* : il battra deux coups, et en même temps l'aiguille *B* marchera de deux divisions. Alors celle-ci marquera le nombre 7, qui suit le nombre 5 dans la colonne des différences premières. Faisons sonner à son tour le compteur du cadran *B* : il battra 7 coups, pendant lesquels l'aiguille *A* avancera de 7 divisions qui, ajoutées au nombre 9 qu'elle marquait déjà, donneront le nombre 16, soit le carré consécutif à 9. En recommençant l'opération à partir de l'aiguille *C*, qu'on laissera toujours sur la division 2, l'on voit qu'en la continuant d'une manière indéfinie, on pourra reproduire la série des carrés des nombres entiers au moyen d'un simple mécanisme.

Le théorème sur lequel est fondée la construction de la machine que nous venons de décrire, est un cas particulier d'un autre théorème plus général, et qui consiste en ce que si, dans un polynome quelconque dont la plus haute puissance de la variable soit *m*, l'on fait croître cette même variable par degrés égaux, que l'on calcule les valeurs correspondantes du polynome, puis, que l'on prenne successivement leurs différences première, deuxième, troisième, etc., ainsi qu'il a été fait pour la série des carrés, les différences *m*ième seront toutes égales entre elles. De sorte que, pour reproduire la série des valeurs du polynome au moyen d'une machine analogue à la précédente, il suffira qu'elle ait $(m + 1)$ cadrans ayant les uns avec les autres les relations indiquées. Comme les différences peuvent être positives ou négatives, la machine contiendra un mécanisme qui fera avancer ou reculer l'aiguille, selon que le nombre à ajouter algébriquement aura le signe plus ou le signe moins.

Lorsque d'un polynome on passe à une série d'une infinité de termes ordonnés suivant les puissances ascendantes de la variable, pour appliquer la machine au calcul de la fonction représentée par cette série, il semblerait au premier abord que le mécanisme devrait contenir une infinité de cadrans, ce qui rendrait la chose impossible. Mais la difficulté disparaitra pour bien des cas, si on observe que, pour un grand nombre de fonctions, l'on parvient à rendre convergentes les séries qui les représentent, de sorte que, selon le degré d'approximation que l'on désire, on pourra se borner à ne calculer qu'un petit nombre des termes de la série, les autres pouvant être négligés. De cette manière la question est ramenée au cas primitif d'un polynome fini. C'est ainsi que l'on peut calculer la suite des logarithmes des nombres, Mais comme, à mesure que la variable augmente de valeur, les termes que l'on avait d'abord négligés prennent un accroissement qui finirait par influer sur le degré d'approximation que l'on veut conserver, il faut, à certains intervalles calculer la valeur de la fonction par des procédés divers, et partir de ces résultats pour en déduire, par le moyen de la machine, les autres valeurs intermédiaires. Comme on le voit, celte machine remplace ici la troisième section des travailleurs dont il a été parlé au sujet des tables calculées par ordre du gouvernement français, et elle remplit ainsi le but proposé.

Telle est la première machine imaginée par Mr. Babbage. On voit que son emploi est limité aux cas où les nombres demandés sont susceptibles d'être obtenus par de simples additions ou soustractions, qu'elle n'est pour ainsi dire que l'expression d'un théorème particulier d'analyse, et qu'enfin elle ne s'étend point à la solution d'une infinité d'autres questions qui sont du ressort de l'analyse mathématique. C'est en songeant au vaste champ qui lui restait encore à parcourir, que Mr. Babbage, renonçant à ses premiers essais, conçut le plan d'un autre système de mécanisme dont l'usage devait avoir la généralité de l'écriture algébrique même, et que, pour cette raison, il nomme machine analytique.

À partir de 1834, Charles Babbage entreprend un nouveau projet de machine calculatrice universelle : la machine analytique. Il définit les principaux concepts préfigurant la structure des ordinateurs modernes. La machine analytique comporte cinq parties : une entrée de données par lecture de cartes perforées, une entrée d'instruction d'opérations toujours par cartes, un organe de calcul ou unité centrale (appelé *mill*, pour moulin) qui effectue les opérations, une mémoire (appelée *store*, pour magasin) pour stocker les résultats intermédiaires et enfin une imprimante. Babbage utilise donc des cartes perforées (déjà utilisées dans les métiers à tisser Jacquard[26], figure 7) pour transmettre les instructions et les données. Il s'agit d'une transmission mécanique de 0 et 1, base des ordinateurs actuels. Figure 8 se trouvent les cartes conçues par Babbage, au premier plan, les cartes les plus petites spécifient les opérations à effectuer ; à l'arrière, les cartes plus grandes indiquent l'emplacement des nombres qui doivent être utilisés, ainsi que l'endroit où le résultat doit être rangé.

---

[26] Métier à tisser mis au point à Lyon de 1801 à 1816 par Joseph Marie Jacquard (1752-1834), inventeur français

Figure 7 : Machine à tisser Jacquard (Musée des Arts et Métiers, Paris) source [25]

Figure 8 : Cartes pour la machine *analytique de Charles Babbage (Musée des sciences, Londres), source [26]*

Là encore, la réalisation pratique de la machine analytique de Charles Babbage n'aboutira pas. Il continuera toute sa vie à améliorer les plans et le fonctionnement de sa machine et même un prototype (figure 9).

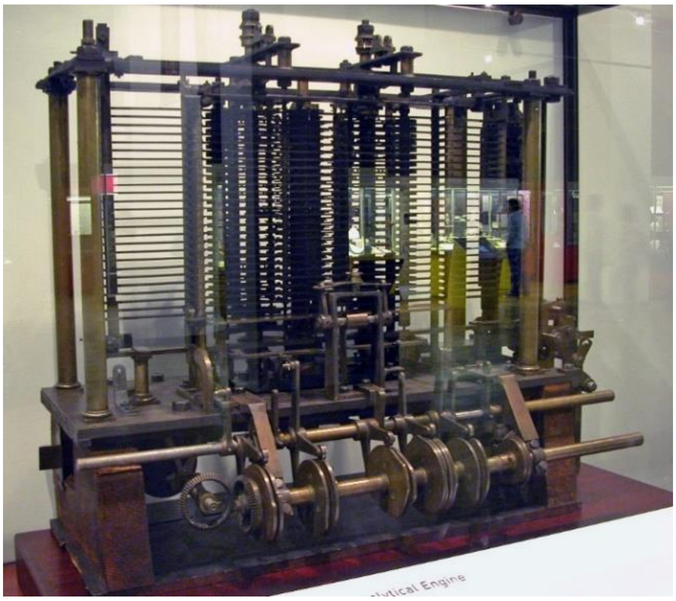


Figure 9 : Prototype d'une partie de la machine analytique de Charles Babbage (Musée des Sciences, Londres), source [27]

En travaillant la machine analytique, Babbage améliore et simplifie les plans de la machine à différences, diminuant par trois le nombre de pièces, mais elle ne fût jamais réalisée. Pour le bicentenaire de la naissance de Charles Babbage en 1991, le Musée de sciences de Londres entreprit la réalisation d'un prototype selon ses plans : la machine à différences version 2 comporte 8000 pièces pour une masse de 5 tonnes !

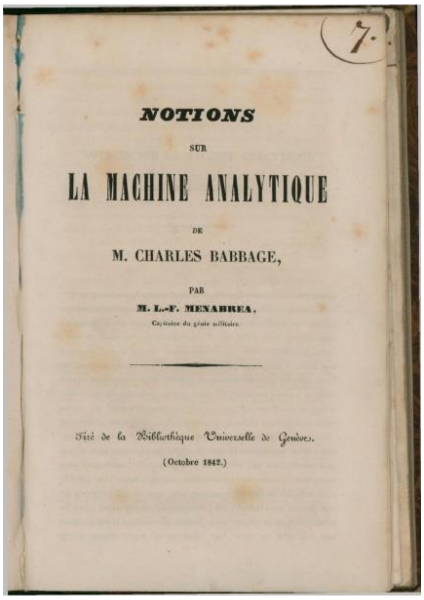
4 - Ada Lovelace et la machine analytique [5,7,28,29,30,31]

En 1833, Mary Somerville présente Charles Babbage à Ada Byron future Ada Lovelace. Ils deviennent amis et travaillent ensemble. Ada est fascinée par la machine analytique que Babbage développe à partir de 1934, tous deux cherchent des appuis financiers pour permettre sa réalisation et une reconnaissance des travaux.

4.1 - La publication de Luigi Menabrea

En 1840, invité par l'astronome Giovanni Plana[27] à un congrès à Turin, Charles Babbage expose en détail sa machine analytique à des scientifiques. Cette première présentation de ses travaux retient l'attention et des discussions se prolongent. Babbage espère un compte-rendu de ces discussions, et pense que Giovanni Plana, titulaire de la chaire d'astronomie de l'Université de Turin, ancien élève de Joseph-Louis Lagrange[28] et Joseph Fourrier[29] à l'École polytechnique, en sera le rédacteur. Cependant c'est Luigi-Federico Menabrea, ancien élève de Plana, qui rédige l'article *Notions sur la machine* de *M. Charles Babbage* publié dans la *Bibliothèque Internationale de Genève* en 1842. La réputation scientifique de Menabrea n'est pas aussi prestigieuse que celle de Plana, plus inattendue dans sa carrière est son intervention dans l'histoire du calcul automatique et de la machine analytique.

Luigi-Federico Menabrea est un ingénieur militaire, scientifique et enseignant il sera également homme politique. Il est né à Chambéry en 1809, la Savoie est alors rattachée à la France, Menabrea est francophone ; quelques années plus tard, la Savoie reviendra au Royaume de Piémont-Sardaigne et elle sera définitivement française à partir de 1860 (Traité de Turin). Luigi Menabrea est enseignant de mécanique à l'université de Turin ainsi qu'à l'École militaire. Il est membre de l'Académie de sciences de Turin et correspondant de l'Académie de sciences de Paris. Il sera ministre du Royaume d'Italie (travaux publics, Marine, affaires étrangères) à partir de 1863 et même Président du conseil des ministres de 1867 à 1869. Il meurt en 1896 à 86 ans. Au début des années 1840, lors de la rédaction du compte rendu de la présentation de la machine analytique, Luigi Menabrea aura de nombreux échanges avec Charles Babbage.



(7)

NOTIONS

SUR

LA MACHINE ANALYTIQUE

DE

M. CHARLES BABBAGE,

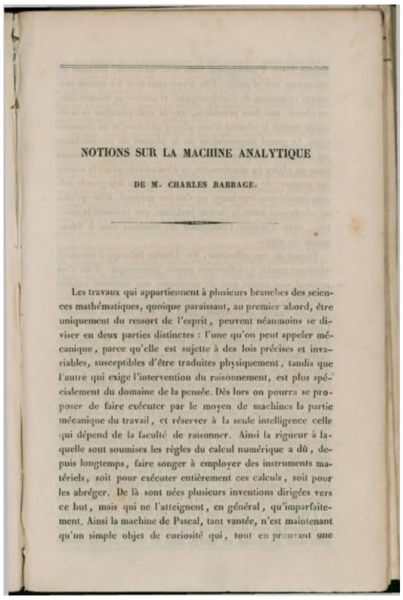
PAR

M. L.-F. MENABREA,

Capitaine du génie militaire.

Tiré de la Bibliothèque Universelle de Genève.

(Octobre 1842.)



NOTIONS SUR LA MACHINE ANALYTIQUE

DE M. CHARLES BABBAGE.

Les travaux qui appartiennent à plusieurs branches des sciences mathématiques, quoique paraissant, au premier abord, être uniquement du ressort de l'esprit, peuvent néanmoins se diviser en deux parties distinctes : l'une qu'on peut appeler mécanique, parce qu'elle est sujette à des lois précises et invariables, susceptibles d'être traduites physiquement, tandis que l'autre qui exige l'intervention du raisonnement, est plus spécialement du domaine de la pensée. Dès lors on pourra se proposer de faire exécuter par le moyen de machines la partie mécanique du travail, et réserver à la seule intelligence celle qui dépend de la faculté de raisonner. Ainsi la rigueur à laquelle sont soumises les règles du calcul numérique a dû, depuis longtemps, faire songer à employer des instruments matériels, soit pour exécuter entièrement ces calculs, soit pour les abréger. De là sont nées plusieurs inventions dirigées vers ce but, mais qui ne l'atteignent, en général, qu'imparfaitement. Ainsi la machine de Pascal, tant vantée, n'est maintenant qu'un simple objet de curiosité qui, tout en prouvant une

Figure 10 : Portait de Luigi Menabrea (vers 1860), son article « Notions sur la machine de M. Charles Babbage » (1842) page de garde et extrait des premières lignes, sources [32,24]

L'article *Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage*, après une courte introduction présentant la machine à différence (encadré pages 7-9), décrit les aspects théoriques et pratiques de la machine analytique (voir encadré ci-après). On peut feuilleter l'article rédigé en français sur le lien [24].

[27] Giovanni Antonio Amedeo Plana (1781-1864), astronome et mathématicien italien
[28] Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), mathématicien, mécanicien et astronome sarde puis français
[29] Joseph Fourier (1768-1830), mathématicien et physicien français

La machine analytique : Ce début de l'explication de son fonctionnement est extrait, sans modification, de l'article de Luigi Menabrea *Notions sur la machine* de *M. Charles Babbage* (1842) [24].

Maintenant que j'ai exposé l'état de la question, il est temps de faire connaître le principe sur lequel est fondée la construction de cette machine. Lorsqu'on emploie l'analyse pour résoudre quelque problème, il y a, en général, deux espèces d'opérations à exécuter : d'abord le calcul numérique des différents coefficients, et ensuite leur distribution par rapport aux quantités qui doivent en être affectées. Si l'on a, par exemple, à former le produit de deux binomes $(a + b\,x)\,(m + n\,x)$ le résultat sera représenté par $am + (an + bm)\,x + bn\,x^2$, expression dans laquelle on devra d'abord calculer am, an, bm, nb, sommer ensuite $an + bm$, et enfin distribuer les coefficients ainsi obtenus par rapport aux puissances de la variable. Si l'on veut reproduire ces opérations au moyen d'une machine, elle devra donc posséder deux facultés distinctes : 1° celle d'exécuter les calculs numériques, 2° celle de distribuer convenablement les valeurs ainsi obtenues. Mais si la main de l'homme était obligée d'intervenir pour diriger chacune de ces opérations partielles, il n'y aurait rien de gagné sous le rapport de l'exactitude et de l'économie de temps ; il faudra donc encore que la machine ait la propriété d'exécuter elle-même toutes les opérations successives nécessaires pour la solution du problème qu'on lui propose, une fois qu'on y aura introduit les *données numériques primitives* de ce même problème. Ainsi, puisque, une fois que la nature du calcul à exécuter ou celle du problème à résoudre sont indiquées, la machine doit, en vertu de son propre pouvoir, passer d'elle-même par toutes les opérations intermédiaires qui conduisent au résultat proposé, elle exclura toutes les méthodes de tâtonnement et d'essai, et n'admettra que les procédés directs de calcul. Il doit en être ainsi, car la machine n'est point un être qui pense, mais un simple automate qui agit suivant les lois qu'on lui a tracées. Cela posé, une des premières recherches de l'auteur a dû être celle d'un moyen de faire la division d'un nombre par un autre, sans employer la méthode de tâtonnement indiquée par les règles ordinaires de l'arithmétique. Cette combinaison n'a pas été la moins difficile à obtenir ; c'est d'elle que dépendait le succès de toutes les autres. Dans l'impossibilité où je suis de décrire ici le procédé par lequel on arrive à ce but, on devra se borner à admettre que les quatre premières opérations de l'arithmétique, c'est-à-dire l'addition, la soustraction, la multiplication et la division, sont susceptibles d'être exécutées d'une manière directe par l'intermédiaire de la machine. Cela étant, la machine sera par là même capable de faire toute espèce de calcul numérique, car en définitive ces calculs se réduisent tous aux quatre opérations que nous venons d'énoncer. Pour concevoir maintenant comment la machine peut fonctionner suivant les lois établies, donnons d'abord une idée de la manière dont les nombres y sont matériellement représentés.

Figurons-nous une pile ou colonne verticale composée d'un nombre indéfini de disques circulaires, tous traversés dans leur centre, par un axe commun autour duquel chacun d'eux peut prendre un mouvement de rotation indépendant. Si, sur le contour de chacun de ces disques, on écrit les dix chiffres qui composent notre alphabet numérique, en disposant, suivant une même verticale, une série de ces chiffres, on pourra exprimer de cette manière un nombre quelconque. Car il suffira de supposer que le premier disque représente les unités, le deuxième les dizaines, le troisième les centaines, ainsi de suite. Lorsque deux nombres auront été écrits de cette manière sur deux colonnes distinctes, on pourra se proposer de les combiner arithmétiquement entre eux, et d'obtenir le résultat inscrit sur une troisième colonne. En général ; si l'on a une série de colonnes composées de disques et que nous désignerons par V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, etc., on peut demander, par exemple, de diviser le nombre écrit sur la colonne V_1, par celui de la colonne V_4, et d'obtenir le résultat sur la colonne V_7. Pour faire cette opération, il faudra donner à la machine deux dispositions distinctes : la première par laquelle elle est prête à exécuter une division, et la seconde par laquelle on lui indique les colonnes sur lesquelles elle doit opérer, et celle où le résultat doit être écrit. Lorsqu'à cette division devra, par exemple, succéder une addition de deux nombres pris sur d'autres colonnes, les deux dispositions de la machine devront changer à la fois. S'il s'agit, au contraire, d'exécuter une suite d'opérations de la même nature, alors la première disposition demeurera la même, la seconde seule changera. Ainsi, parmi les arrangements que peuvent prendre les diverses pièces de la machine, on en distinguera deux principaux : 1° *la disposition relative aux opérations*, 2° *la disposition relative aux variables* ; par cette dernière on entend celle qui indique les colonnes sur lesquelles on doit opérer. Quant aux opérations mêmes, elles s'exécutent dans un appareil spécial désigné sous le nom de *moulin* ; il est lui-même composé d'un certain nombre de colonnes semblables à celles des variables. Lorsque deux nombres doivent être combinés ensemble, la machine commence par les effacer sur les colonnes où ils étaient écrits, c'est-à-dire à mettre *zéro* sur chaque disque dans les deux lignes verticales où les nombres étaient écrits ; puis elle les transporte dans le moulin. Là, l'appareil étant disposé pour l'opération demandée, celle-ci s'exécute, et, une fois qu'elle est achevée, le résultat est lui-même transporté sur la colonne des variables qui aura été indiquée. Ainsi le moulin est la partie de la machine qui exécute ; les colonnes des variables constituent celle où s'écrivent et s'ordonnent les résultats. D'après ce qui vient d'être dit, l'on voit que tous les résultats fractionnaires et irrationnels seront représentés par des fractions décimales. En supposant chaque colonne composée de quarante disques, cette extension serait suffisante pour tous les degrés d'approximation dont on a généralement besoin.

Maintenant l'on demandera comment la machine peut d'elle-même et sans avoir recours à la main de l'homme, prendre les dispositions successives convenables pour opérer. La solution de ce problème a été empruntée à l'appareil de Jacquard, en usage pour la confection des étoffes brochées ; voici de quelle manière :

Dans les tissus on distingue généralement deux espèces de fils : d'abord, les chaînes ou fils longitudinaux, ensuite la trame ou fil transversal qui est guidé par l'instrument que l'on nomme navette et qui croise avec les chaînes. Lorsque l'on veut faire une étoffe brochée, il faut empêcher tour à tour certains fils de croiser avec la trame, suivant un ordre déterminé par la nature du dessin qu'il s'agit de reproduire. Jadis cette opération était longue et difficile et exigeait que l'ouvrier, attentif au dessin qu'il devait copier, ordonnât lui-même les mouvements que ces fils devaient prendre. De là provenait le prix élevé de ce genre d'étoffes, surtout lorsqu'il y entrait des fils de différentes couleurs. Pour simplifier cette manufacturation, Jacquard imagina de faire communiquer chacun des groupes de fils qui devaient agir ensemble avec un levier distinct pour chaque groupe. Tous ces leviers se terminent par des tiges réunies en un faisceau qui a généralement la forme d'un parallélipipède à base rectangulaire ; ces tiges sont cylindriques et séparées entre elles par de petits intervalles. L'opération du soulèvement des fils se réduira ainsi à mouvoir convenablement ces divers bras de levier. Pour cela, on prend une feuille de carton de forme rectangulaire, un peu plus grande que la section du faisceau. Si l'on applique cette feuille contre la base du faisceau de leviers, en lui imprimant un mouvement de translation, ceux-ci se mouvront tous en même temps, ainsi que les fils qui leur correspondent. Mais si le carton, au lieu d'être *plein*, était percé dans les endroits où les extrémités des leviers viennent le rencontrer, alors, dans son mouvement le carton étant traversé de part en part par les leviers, ceux-ci resteraient en place. De cette manière on voit qu'il est aisé de déterminer la position de ces trous dans le carton, de manière que, à un instant donné, il y ait un certain nombre de leviers et par conséquent de fils soulevés, tandis que les autres restent en place. En supposant que cette opération soit successivement répétée suivant une loi indiquée par le dessin qu'on veut exécuter, l'on conçoit que ce dessin puisse être reproduit sur l'étoffe. Pour cela il n'y a qu'à composer une série de cartons suivant la loi requise, et à les disposer convenablement à la suite les uns des autres ; puis en les faisant passer sur un arbre à section polygonale, qui à chaque coup de la navette présenterait une nouvelle face, laquelle serait transportée parallèlement à elle-même contre le faisceau de leviers, l'opération du soulèvement des fils se ferait d'une manière régulière. On voit qu'ainsi l'on pourra confectionner les étoffes brochées, avec une rapidité et une précision qu'il était difficile d'obtenir auparavant.

Ce sont des dispositions analogues à celle que nous venons de décrire, qui ont été introduites dans la machine analytique. Elle contient deux espèces principales de cartons : 1° les cartons des opérations, par lesquels la machine est disposée de manière à exécuter une série déterminée d'opérations, telles que additions, soustractions, multiplications et divisions ; 2° les cartons des variables, qui indiquent à la machine des colonnes sur lesquelles les résultats doivent être écrits. Les cartons étant mis en mouvement, disposent successivement les diverses pièces de la machine selon la nature des opérations à faire, et la machine les exécute en même temps au moyen des mécanismes dont elle est composée.

Pour mieux concevoir la chose, prenons pour exemple la résolution de deux équations du premier degré à deux inconnues. Soient donc les deux équations suivantes où x et y sont les inconnues :

$$ma + ny = d$$
$$m'x + n'y = d'$$

on en déduit $x = \frac{dn' - d'n}{N'm - nm'}$, et pour y une valeur analogue.

Représentons toujours par V_0, V_1, V_2, etc., les différentes colonnes qui contiennent les nombres, et supposons qu'on ait choisi les huit premières colonnes pour y écrire les nombres qui sont représentés par $m, n, d, m', n', d'n$ et n', ce qui suppose $V_0 = m$, $V_1 = n$, $V_2 = d$, $V_3 = m'$, $V_4 = n'$, $V_5 = d'$, $V_6 = n$, $V_7 = n'$. La série des opérations commandées par les cartons, et les résultats obtenus, seront représentés par le tableau suivant :

NOMBRE des OPÉRATIONS.	CARTONS des OPÉRATIONS. — Signes indiquant la nature des opér tions.	CARTONS DES VARIABLES. C lonne soumise aux opérations.	CARTONS DES VARIABLES. Colonne recevant le résultat des opérations	MARCHE des OPÉRATIONS.
1	$\times$	$V_2 \times V_4 =$	V_8	$= dn'$
2	$\times$	$V_5 \times V_1 =$	V_9	$= d'n$
3	$\times$	$V_4 \times V_0 =$	V_{10}.......	$= n'm$
4	$\times$	$V_1 \times V_3 =$	V_{11}.......	$= nm'$
5	$-$	$V_8 - V_9 =$	V_{12}.......	$= dn' - d'n$
6	$-$	$V_{10} - V_{11} =$	V_{13}.......	$= n'm - n'm'$
7	$:$	$\frac{V_{12}}{V_{13}} =$	V_{14}.......	$= x = \frac{dn' -- d'n}{mn' - m'n}$

Comme les cartons ne font qu'indiquer comment et sur quelles colonnes la machine doit agir, il est clair qu'il faudra encore, dans chaque cas particulier, introduire les données numériques du calcul. Ainsi, dans l'exemple que nous avons choisi, on devra préalablement écrire les valeurs numériques de m, n, d, m', n', d' dans l'ordre et sur les colonnes indiquées, après quoi l'on fera agir la machine qui donnera la valeur de l'inconnue x pour ce cas particulier. Pour avoir la valeur de y, il faudra faire une autre série d'opérations analogues aux précédentes. Mais on voit qu'elles se réduiront à quatre seulement, car le dénominateur de l'expression de y, sauf le signe, est le même que celui de x, et égal à $m'n$ - mn'. Dans le tableau précédent l'on remarquera que la colonne des opérations indique de suite quatre multiplications, deux soustractions et une division. Ainsi l'on pourra, au besoin, n'employer que trois cartons des opérations ; pour cela il suffira d'introduire dans la machine un appareil qui, par exemple, après la première multiplication, retienne le carton relatif à cette opération, et ne lui permette d'avancer, pour être remplacé par un autre, que lorsque cette même opération aura été répétée quatre fois. Dans l'exemple précédent, nous avons vu que, pour trouver la valeur de x, il fallait commencer par écrire les coefficients m, n, d, m', n', d' sur huit colonnes, en répétant ainsi deux fois n et n' ; d'après la même méthode, si l'on voulait également calculer y, on aurait dû écrire ces mêmes coefficients sur douze colonnes différentes. Mais il est possible de simplifier cette opération et d'éviter les chances d'erreurs, qui augmentent à mesure que la quantité des nombres à écrire, avant de faire opérer la machine, devient plus grand. Pour cela souvenons-nous que tout nombre écrit sur une colonne, afin d'être combiné arithmétiquement avec un autre nombre, doit être effacé de la colonne sur laquelle il se trouve et transporté dans le moulin. Or, dans l'exemple que nous avons discuté, prenons les deux coefficients m et n', qui chacun doivent entrer dans deux produits différents, c'est-à-dire m dans mn' et md', n' dans mn' et $n'd$. Ces coefficients seront écrits sur les colonnes V_0 et V_4. Si l'on commence la série des opérations par le produit de m par n', on effacera ces nombres sur les colonnes V_0 et V_4 pour les transporter dans le moulin qui les multipliera ensemble, puis ordonnera à la machine d'écrire le résultat sur la colonne V_6 par exemple. Mais comme ces nombres doivent encore servir chacun à une opération, il faudra qu'ils se trouvent de nouveau écrits quelque part ; pour cela, en même temps que le moulin effectue leur produit, la machine les écrira de nouveau sur deux colonnes qui lui seront indiquées par les cartons, et comme dans le cas actuel rien ne s'oppose à ce qu'ils reprennent leurs premières places, on les supposera inscrits sur V_0 et V_4, d'où ils ne disparaîtront enfin, pour ne plus être reproduits, que lorsqu'ils auront subi les autres combinaisons auxquelles ils doivent être soumis.

On voit donc que l'ensemble des opérations nécessaires pour résoudre les deux équations du premier degré en question, pourra en définitive être représenté par le tableau suivant :

Colonnes sur lesquelles sont écrites les données primitives du problème.	Nombre des opérations.	CARTONS des opérations. Nombre des cartons des opérations	CARTONS des opérations. Signes indiquant la nature des opér.	CARTONS DES VARIABLES. COLONNES soumises aux opérations	CARTONS DES VARIABLES. Colonnes qui reçoivent le résultat des opérations.	CARTONS DES VARIABLES. Indication des nouvelles colonnes sur lesquelles sont écrites les variables.	MARCHE des OPÉRATIONS.
$V_0 = m$	1	1	$\times$	$V_0 \times V_4 =$	$V_6 \ldots\ldots$	V_0 sur V_0 V_4 id. V_4	$V_6 = mn'$
$V_1 = n$	2	»	$\times$	$V_3 \times V_1 =$	$V_7 \ldots\ldots$	V_1 id. V_1 V_3 id. V_3	$V_7 = m'n$
$V_2 = d$	3	»	$\times$	$V_2 \times V_4 =$	$V_8 \ldots\ldots$	V_2 id. V_2 V_4 id.....	$V_8 = dn'$
$V_3 = m'$	4	»	$\times$	$V_5 \times V_1 =$	$V_9 \ldots\ldots$	V_1 id..... V_5 id. V_5	$V_9 = d'n$
$V_4 = n'$	5	»	$\times$	$V_0 \times V_5 =$	$V_{10} \ldots\ldots$	V_0 id..... V_5 id.....	$V_{10} = d'm$
$V_5 = d$	6	»	$\times$	$V_2 \times V_3 =$	$V_{11} \ldots\ldots$	V_2 id..... V_3 id.....	$V_2 = dm'$
	7	2	$-$	$V_0 \times V_7 =$	$V_{12} \ldots$	V_6 id..... V_7 id.....	$V_{12} = mn' - m'n$
	8	»	$-$	$V_8 - V_9 =$	$V_{13} \ldots$	V_8 id..... V_9 id.....	$V_{13} = dn' - d'n$
	9	»	$-$	$V_{10} - V_{11} =$	$V_{14} \ldots$	V_{10} id..... V_{11} id.....	$V_{14} = d'm - dm'$
	10	3	$:$	$\frac{V_{13}}{V_{12}} =$	$V_{15} \ldots$	V_{13} id..... V_{12} id V_{12}	$V_{15} = \frac{dn' - d'n}{mn' - m'n} = x$
	11	»	$:$	$\frac{V_{14}}{V_{12}} =$	$V_{16} \ldots$	V_{12} id..... V_{14} id.....	$V_{16} = \frac{d'm - dm'}{mn' - m'n} = y$

Afin de diminuer autant que possible les chances d'erreur dans l'écriture des données numériques du problème, on les écrit successivement sur une des colonnes du moulin ; puis, au moyen de cartons disposés à cet effet, ces mêmes nombres vont se placer sur les colonnes convenables, sans que l'opérateur ait aucunement à s’en inquiéter ; de cette manière toute son attention se reportera sur la simple écriture de ces mêmes nombres.

D'après ce qui vient d’être exposé, on voit que l’ensemble des colonnes des variables peut être considéré comme un magasin de nombres qui y sont accumulés par le moulin et qui, obéissant aux ordres transmis à la machine par le moyen des cartons, passent alternativement du moulin au magasin et du magasin au moulin, pour y subir les transformations requises par la nature du calcul à exécuter.

Jusqu'ici, il n’a point encore été parlé des signes des résultats, et la machine serait loin d’être parfaite si elle n’était pas capable d’exprimer et de combiner entre elles les quantités positivés et négatives. Pour arriver à ce but, au-dessus de chaque colonne, tant du moulin que du magasin, se trouve un disque semblable à ceux qui composent les colonnes. Selon que le chiffre correspondant au nombre écrit sur la pile inférieure est pair ou impair, ce dernier sera considéré comme positif ou négatif. Cela posé, voici une manière de concevoir comment les signes peuvent se combiner algébriquement dans la machine. Lorsqu'un nombre devra être transporté du magasin dans le moulin et *vice versa*, il le sera toujours avec son signe, ce qui se fera par l'intermédiaire des cartons, ainsi qu'il a été dit précédemment. […]

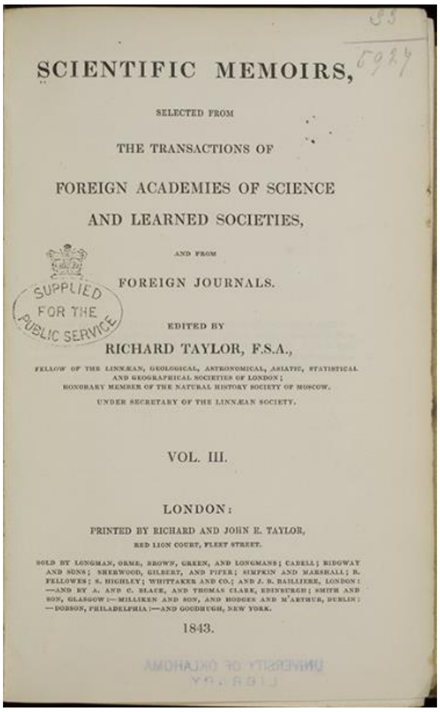
Luigi Menabrea termine son article (voir encadré ci-après) en pressentant l’intérêt d’une telle machine, dans les recherches et développements scientifiques. À noter qu’il espère une réalisation pratique de la machine analytique qui n’aura donc jamais lieu. Les ordinateurs actuels font exactement le même cheminement que celui décrit, tous les objets physiques des cartes perforées au système de rouage mécanique, sont avantageusement remplacés par le numérique et des composants électroniques totalement inexistants en ce milieu du XIX^{e} siècle.

La machine analytique : Cette conclusion est extraite, sans modification, de l’article de Luigi Menabrea *Notions sur la machine* de *M. Charles Babbage* (1842) [24].

Maintenant, en admettant qu’une telle machine soit exécutable, on pourra demander quelle en sera l’utilité ? En résumé, elle présentera les avantages suivants : 1° Exactitude ; on sait que les calculs numériques sont généralement l’écueil de la solution des problèmes, car les erreurs s’y glissent aisément, et il n'est pas toujours facile de les reconnaître. Or, la machine, par la nature même de son mode d'agir, qui n’exige aucunement l'intervention de la main de l’homme durant le cours de ses opérations, présente toute espèce de garantie au sujet de l'exactitude ; d’ailleurs, elle porte son contrôle avec elle-même, car à la fin de chaque opération elle donne imprimés, non-seulement le résultat, mais encore les données numériques de la question, de sorte qu'il est aisé de vérifier si cette question a été posée avec exactitude. 2° Économie de temps : pour s’en convaincre, il suffira de rappeler qu'une multiplication de deux nombres composés chacun de 20 chiffres demande tout au plus trois minutes. D'ailleurs, lorsque l’on devra faire une longue série de calculs identiques, comme ceux qu’exige la formation de tables numériques, on pourra mettre en jeu la machine de manière à donner plusieurs résultats à la fois, ce qui abrégera de beaucoup l’ensemble des opérations. 3° Economie d'intelligence : un simple calcul d’arithmétique exige le concours d’une personne ayant quelque capacité ; lorsqu'on passe à des calculs plus compliqués, et qu'on veut faire usage de formules algébriques dans des cas particuliers, il faut déjà posséder des connaissances qui supposent des études mathématiques préliminaires de quelque étendue. Or, la machine, pouvant faire elle-même toutes ces opérations purement matérielles, épargne le travail d’intelligences qui peuvent être employées plus utilement, Ainsi la machine pourra être considérée comme une vraie manufacture de chiffres, qui prêtera son secours aux sciences et aux arts utiles qui s'appuient sur les nombres. Or, qui pourrait prévoir les conséquences d'une telle invention ? En effet, combien d'observations précieuses restent inutiles aux progrès des sciences, parce qu'il n'y a pas de forces suffisantes pour en calculer les résultats ! Que de découragement la perspective d'un long et aride calcul ne jette-t-elle pas dans l'âme de l'homme de génie qui ne demande que du temps pour méditer et qui se le voit ravi par le matériel des opérations ! Et pourtant c'est par la voie laborieuse de l'analyse qu'il doit arriver à la vérité ; mais il ne peut la suivre sans être guidé par des nombres, car sans les nombres il n'est pas donné de pouvoir soulever le voile qui couvre les mystères de la nature. Ainsi la pensée de former un instrument capable d'aider la faiblesse de l'homme dans de telles recherches, est une conception qui, venant à se réaliser, marquerait une époque glorieuse dans l'histoire des sciences. Toutes les pièces, tous les rouages qui composent cet immense appareil ont été combinés, leur action a été étudiée, mais ils n'ont pu être encore assemblés. La confiance que doit inspirer le génie de Mr. Babbage rend légitime l'espoir que cette entreprise sera couronnée de succès ; en rendant hommage à l'intelligence qui la dirige, faisons des vœux pour qu'une telle œuvre s'accomplisse.

4.2 - La publication d'Ada Lovelace [31,33,34]

Ada Lovelace a étudié le français et dès 1842, elle entreprend de traduire l'article en anglais pour la revue scientifique *Scientific Memoirs*[30], revue spécialisée dans la diffusion d'articles scientifiques étrangers. Ce ne sera pas une simple traduction, mais un article complété de nombreuses notes détaillées, qui sont devenues un classique de la littérature sur les ordinateurs. L'article est publié en 1843, le traducteur et le rédacteur des notes reste anonyme jusqu'à la dernière page où Augusta Ada Lovelace signe modestement de ses initiales A. A. L. … Une erreur apparente de composition typographique a entraîné l'impression de A. L. L. : anonyme jusqu'au bout !



SCIENTIFIC MEMOIRS,

SELECTED FROM

THE TRANSACTIONS OF

FOREIGN ACADEMIES OF SCIENCE

AND LEARNED SOCIETIES,

AND FROM

FOREIGN JOURNALS.

SUPPLIED FOR THE PUBLIC SERVICE

EDITED BY

RICHARD TAYLOR, F.S.A.,

FELLOW OF THE LINNÆAN, GEOLOGICAL, ASTRONOMICAL, ASIATIC, STATISTICAL AND GEOGRAPHICAL SOCIETIES OF LONDON;
HONORARY MEMBER OF THE NATURAL HISTORY SOCIETY OF MOSCOW.
UNDER SECRETARY OF THE LINNÆAN SOCIETY.

VOL. III.

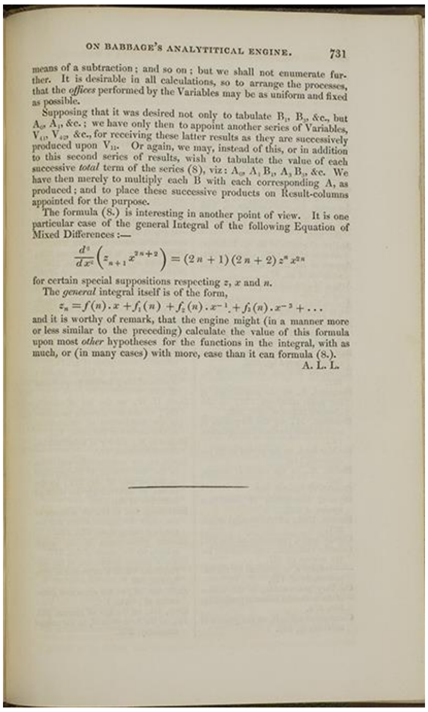
LONDON:

PRINTED BY RICHARD AND JOHN E. TAYLOR,

RED LION COURT, FLEET STREET.

SOLD BY LONGMAN, ORME, BROWN, GREEN, AND LONGMANS; CADELL; RIDGWAY AND SONS; SHERWOOD, GILBERT, AND PIPER; SIMPKIN AND MARSHALL; R. FELLOWES; S. HIGHLEY; WHITTAKER AND CO.; AND J. B. BAILLIERE, LONDON: —AND BY A. AND C. BLACK, AND THOMAS CLARK, EDINBURGH; SMITH AND SON, GLASGOW:—MILLIKEN AND SON, AND HODGES AND M'ARTHUR, DUBLIN: —DOBSON, PHILADELPHIA:—AND GOODHUGH, NEW YORK.

1843.



ON BABBAGE'S ANALYTITICAL ENGINE. 731

means of a subtraction; and so on; but we shall not enumerate further. It is desirable in all calculations, so to arrange the processes, that the *offices* performed by the Variables may be as uniform and fixed as possible.

Supposing that it was desired not only to tabulate B_1, B_3, &c., but A_0, A_1, &c.; we have only then to appoint another series of Variables, V_{41}, V_{42}, &c., for receiving these latter results as they are successively produced upon V_{11}. Or again, we may, instead of this, or in addition to this second series of results, wish to tabulate the value of each successive *total* term of the series (8), viz: A_0, $A_1 B_1$, $A_3 B_3$, &c. We have then merely to multiply each B with each corresponding A, as produced; and to place these successive products on Result-columns appointed for the purpose.

The formula (8.) is interesting in another point of view. It is one particular case of the general Integral of the following Equation of Mixed Differences:—

$$\frac{d^2}{dx^2}\left(z_{n+1}\, x^{2n+2}\right) = (2n+1)(2n+2)\, z^n x^{2n}$$

for certain special suppositions respecting z, x and n.

The *general* integral itself is of the form,

$$z_n = f(n).x + f_1(n) + f_2(n).x^{-1} + f_3(n).x^{-2} + \dots$$

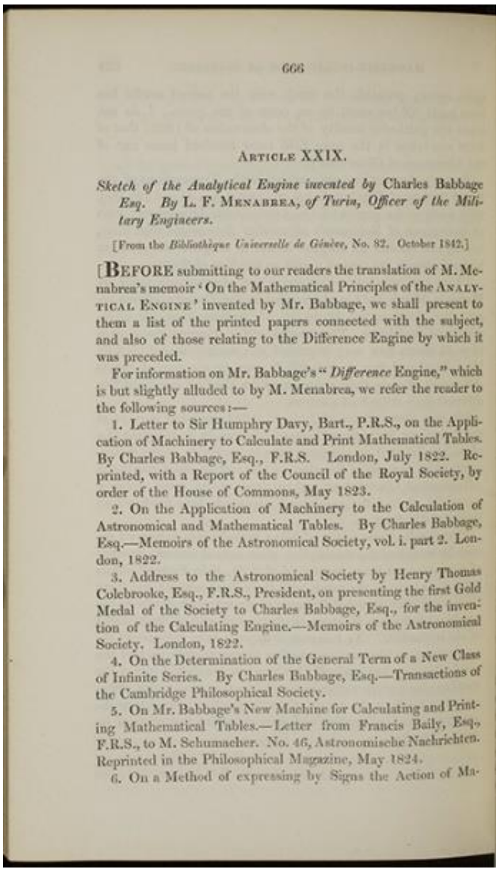
and it is worthy of remark, that the engine might (in a manner more or less similar to the preceding) calculate the value of this formula upon most *other* hypotheses for the functions in the integral, with as much, or (in many cases) with more, ease than it can formula (8.).

A. L. L.

Figure 11 : Scientific Memoirs (1843) page de garde et la dernière page avec les initiales A. L. L. au lieu de A. A. L., source [31]

[30] Scientific Memoirs: Selected from the Transactions of Foreign Academies of Science and Learned Societies (Mémoires scientifiques tirées des transactions des académies des sciences et des sociétés savantes étrangères)

Le début de la publication d'Ada Lovelace (figure 12) commence par : « *Avant de soumettre à nos lecteurs la traduction du mémoire de M. Menabrea intitulé "Les principes mathématiques de la machine analytique" inventée par M. Babbage, nous leur présenterons une liste des documents imprimés relatifs à ce sujet, ainsi que de ceux relatifs à la machine à différence qui l'a précédé. Pour des informations sur la "machine à différence" de M. Babbage, auquel M. Menabrea ne fait qu'une légère allusion, nous renvoyons le lecteur aux sources suivantes :* »[31] et suit une liste de références documents et correspondance.



666

ARTICLE XXIX.

Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage *Esq. By* L. F. MENABREA, *of Turin, Officer of the Military Engineers.*

[From the *Bibliothèque Universelle de Génève*, No. 82. October 1842.]

[BEFORE submitting to our readers the translation of M. Menabrea's memoir 'On the Mathematical Principles of the ANALYTICAL ENGINE' invented by Mr. Babbage, we shall present to them a list of the printed papers connected with the subject, and also of those relating to the Difference Engine by which it was preceded.

For information on Mr. Babbage's "*Difference* Engine," which is but slightly alluded to by M. Menabrea, we refer the reader to the following sources:—

1. Letter to Sir Humphry Davy, Bart., P.R.S., on the Application of Machinery to Calculate and Print Mathematical Tables. By Charles Babbage, Esq., F.R.S. London, July 1822. Reprinted, with a Report of the Council of the Royal Society, by order of the House of Commons, May 1823.

2. On the Application of Machinery to the Calculation of Astronomical and Mathematical Tables. By Charles Babbage, Esq.—Memoirs of the Astronomical Society, vol. i. part 2. London, 1822.

3. Address to the Astronomical Society by Henry Thomas Colebrooke, Esq., F.R.S., President, on presenting the first Gold Medal of the Society to Charles Babbage, Esq., for the invention of the Calculating Engine.—Memoirs of the Astronomical Society. London, 1822.

4. On the Determination of the General Term of a New Class of Infinite Series. By Charles Babbage, Esq.—Transactions of the Cambridge Philosophical Society.

5. On Mr. Babbage's New Machine for Calculating and Printing Mathematical Tables.—Letter from Francis Baily, Esq., F.R.S., to M. Schumacher. No. 46, Astronomische Nachrichten. Reprinted in the Philosophical Magazine, May 1824.

6. On a Method of expressing by Signs the Action of Ma-

Figure 12 : Première page de l'article d'Ada Lovelace, source [31]

À la traduction de l'article de Luigi Menabrea, Ada Lovelace, en collaboration avec Charles Babbage, ajoute sept notes notées de A à G, augmentant considérablement le volume du texte d'origine. L'article de Menabrea ne comporte que quatre tableaux illustrant le propos, trois ont été reproduits dans les encadrés (pages 7-9 et 12-16). Nous allons voir qu'Ada Lovelace s'attache à illustrer ses notes.

Dans la note A on peut lire qu'Ada Lovelace entrevoit l'étendue d'action des futurs ordinateurs : « *Le mécanisme opératoire peut même être mis en action indépendamment de tout objet sur lequel opérer (bien que, bien sûr, aucun résultat ne puisse alors être développé). De même, il pourrait agir sur d'autres choses que le nombre, si l'on trouvait des objets dont les relations fondamentales mutuelles pourraient être exprimées par celles de la science abstraite des opérations, et qui seraient également susceptibles d'être adaptées à l'action de la notation et du mécanisme de fonctionnement du moteur. En supposant, par exemple, que les relations*

[31] Traduction des rédacteurs : « *Before submitting to our readers the translation of M. Menabrea's memoir "On the mathematical Principles of the Analytics Engine" invented by Mr. Babbage, we shall present to them a list of the printed papers connected with the subject, and also of those relating to the Difference Engine by which it was preceded.*
For information on M. Babbage's "Diffrence Engine", which is but slightly alluted to by M. Menabrea, we refer the reader to the follonwing sources: »

fondamentales des sons aigus dans la science de l'harmonie et de la composition musicale soient susceptibles d'être exprimées et adaptées de la sorte, le moteur pourrait composer des morceaux de musique élaborés et scientifiques de n'importe quel degré de complexité ou d'étendue. »[32]

Elle imagine également, au-delà même de ce Charles Babbage a prévu lors de la conception de sa machine analytique, que ce type de machine pourrait parvenir à manipuler des symboles plutôt que des chiffres. Ce serait donc une machine programmable et non pas une simple calculatrice : « *Les limites de l'arithmétique ont cependant été dépassées dès que l'idée d'appliquer les cartes est apparue ; et la machine analytique n'occupe pas le même terrain que les simples "machines à calculer". Elle occupe une position qui lui est propre et les considérations qu'elle suggère sont très intéressantes de par leur nature. En permettant au mécanisme de combiner des symboles généraux dans des successions d'une variété et d'une étendue illimitées, un lien est établi entre les opérations de la matière et les processus mentaux abstraits de la branche la plus abstraite de la science mathématique. Un langage nouveau, vaste et puissant est développé pour l'usage futur de l'analyse, dans lequel il sera possible de manier ses vérités de manière à ce qu'elles puissent être appliquées plus rapidement et plus précisément aux besoins de l'humanité que les moyens dont nous disposons jusqu'à présent ne l'ont permis. Ainsi, non seulement le mental et le matériel, mais aussi le théorique et le pratique dans le monde mathématique, sont mis en relation plus intime et plus efficace l'un avec l'autre.* »[33]

La note B s'attache à détailler le fonctionnement de « l'entrepôt » (storehouse), c'est-à-dire la mémoire de la machine analytique et détaille les colonnes de Variables, notés Vi dans les extraits de l'article de Menabrea : « *[…] chaque cercle du haut est destiné à contenir le signe algébrique + ou −, l'un ou l'autre pouvant se substituer à l'autre, selon que le nombre représenté dans la colonne du dessous est positif ou négatif.[…] Les zéros sous les cercles symboliques représentent chacun d'eux un disque, censé avoir le chiffre 0 présenté devant. Seuls quatre niveaux de zéros ont été représentés dans le diagramme, mais ceux-ci peuvent être considérés comme représentant trente ou quarante, ou tout autre nombre de niveaux de disques pouvant être requis. Puisque chaque disque peut présenter n'importe quel chiffre, et chaque cercle n'importe quel signe, les disques de chaque colonne peuvent être réglés de manière à exprimer n'importe quel nombre positif ou négatif dans les limites de la machine ; lesquelles limites dépendent de l'étendue perpendiculaire du mécanisme, c'est-à-dire du nombre de disques par colonne.* »[34]

---

[32] Traduction des rédacteurs : « *The operating mechanism can even be thrown into action independently of any object to operate upon (although of course no result could then be developed). Again, it might act upon other things besides number, were objects found whose mutual fundamental relations could be expressed by those of the abstract science of operations, and which should be also susceptible of adaptations to the action of the operating notation and mechanism of the engine. Supposing, for instance, that the fundamental relations of pitched sounds in the science of harmony and of musical composition were susceptible of such expression and adaptations, the engine might compose elaborate and scientific pieces of music of any degree of complexity or extent.* »

[33] Traduction des rédacteurs : « *The bounds of arithmetic were however outstepped the moment the idea of applying the cards had occurred; and the Analytical Engine does not occupy common ground with mere "calculating machines." It holds a position wholly its own; and the considerations it suggests are most interesting in their nature. In enabling mechanism to combine together general symbols in successions of unlimited variety and extent, a uniting link is established between the operations of matter and the abstract mental processes of the most abstract branch of mathematical science. A new, a vast, and a powerful language is developed for the future use of analysis, in which to wield its truths so that these may become of more speedy and accurate practical application for the purposes of mankind than the means hitherto in our possession have rendered possible. Thus not only the mental and the material, but the theoretical and the practical in the mathematical world, are brought into more intimate and effective connexion with each other.* »

[34] Traduction des rédacteurs : « *[…] each circle at the top is intended to contain the algebraic sign + or −, either of which can be substituted for the other, according as the number represented on the column below*

$$\begin{array}{ccccc} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & \&c. \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \&c. \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \&c. \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \\ \square & \square & \square & \square & \&c. \end{array}$$

Figure 13 et les 2 suivantes : Extraits de la note B, source [34]

Ada Lovelace explique le fonctionne des colonnes de Variables à l'aide d'un exemple simple : « *Chacun des carrés situés sous les zéros est destiné à l'inscription de tout symbole général ou combinaison de symboles ; étant entendu que le nombre représenté dans la colonne immédiatement au-dessus est la valeur numérique de ce symbole, ou de cette combinaison de symboles. Représentons par exemple les trois quantités a, n, x, et supposons en outre que a = 5, n = 7, x = 98. Nous aurions :* » [35]

$$\begin{array}{ccccc} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & \&c. \\ + & + & + & + & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \&c. \\ 0 & 0 & 9 & 0 & \\ 5 & 7 & 8 & 0 & \&c. \\ \boxed{a} & \boxed{n} & \boxed{x} & \boxed{} & \end{array}$$

« *Nous pouvons maintenant combiner ces symboles de diverses manières, de manière à former la ou les fonctions voulues, et nous pouvons ensuite inscrire chacune de ces fonctions entre crochets, chaque crochet réunissant ensemble les quantités (et celles-là seulement) qui entrent dans la fonction inscrite en dessous. Lorsque nous avons choisi la fonction particulière dont nous voulons calculer la valeur numérique, nous devons également assigner une autre colonne à droite pour recevoir les résultats et inscrire la fonction dans le carré situé en dessous de cette colonne. Dans le cas ci-dessus, nous pourrions avoir l'une des fonctions suivantes : ax^n, x^{an}, a.n.x, (a/n)x, a+n+x, etc. etc. Sélectionnons la première. Elle se présenterait comme suit, avant calcul :*»[36]

$$\begin{array}{ccccc} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & \&c. \\ + & + & + & + & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \&c. \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 9 & 0 & \\ 5 & 7 & 8 & 0 & \&c. \\ \boxed{a} & \boxed{n} & \boxed{x} & \boxed{ax^n} & \\ \multicolumn{3}{c}{\underbrace{\hphantom{\boxed{a}\quad\boxed{n}\quad\boxed{x}}}_{ax^n}} & & \end{array}$$

is positive or negative. […] The zeros beneath the symbolic circles represent each of them a disc, supposed to have the digit 0 presented in front. Only four tiers of zeros have been figured in the diagram, but these may be considered as representing thirty or forty, or any number of tiers of discs that may be required. Since each disc can present any digit, and each circle any sign, the discs of every column may be so adjusted as to express any positive or negative number whatever within the limits of the machine; which limits depend on the perpendicular extent of the mechanism, that is, on the number of discs to a column. »

[35] Traduction des rédacteurs : « *Each of the squares below the zeros is intended for the inscription of any general symbol or combination of symbols we please; it being understood that the number represented on the column immediately above is the numerical value of that symbol, or combination of symbols. Let us, for instance, represent the three quantities a, n, x, and let us further suppose that a = 5, n = 7, x = 98. We should have:* »

[36] Traduction des rédacteurs : « *We may now combine these symbols in a variety of ways, so as to form any required function or functions of them, and we may then inscribe each such function below brackets, every bracket uniting together those quantities (and those only) which enter into the function inscribed below it. We must also, when we have decided on the particular function whose numerical value we desire to calculate, assign another column to the right-hand for receiving the results, and must inscribe the function in the square below this column. In the above instance we might have any one of the following functions: ax^n, x^{an}, a.n.x, (a/n)x, a+n+x, &c. &c. Let us select the first. It would stand as follows, previous to calculation:* »

« Les données étant fixées, il faut maintenant introduire dans la machine les cartes propres à diriger les opérations dans le cas de la fonction particulière choisie. Dans le cas présent, ces opérations seraient : premièrement, six multiplications afin d'obtenir x^n (=98^7 pour les données particulières ci-dessus). Deuxièmement, une multiplication pour ensuite obtenir $a \cdot x^n$ (=$5 \cdot 98^7$). En tout, sept multiplications pour compléter l'ensemble du processus. On peut ainsi les représenter : (×,×,×,×,×,×,×) ou 7 (×). »[37]

Ada Lovelace s'attache à expliquer les rôles des différentes cartes. Chaque pas des 7 multiplications décrites ne s'effectuant pas sur les mêmes paires de colonnes « *la même opération serait effectuée sur des sujets d'opération différents* »[38], la machine dirige ses opérations de manière indépendante : « *Dans la détermination de la valeur de ax^n, les opérations sont homogènes, mais réparties entre différents sujets d'opération, à des étapes successives du calcul. C'est au moyen de certaines cartes perforées, appartenant aux variables elles-mêmes, que l'action des opérations est distribuée de manière à convenir à chaque fonction particulière.* »[39]

« Les cartes d'opération ne font que déterminer la succession des opérations d'une manière générale. En fait, elles placent toute la partie du mécanisme incluse dans le moulin dans une série d'états différents, que nous pouvons appeler respectivement l'état d'addition, l'état de multiplication, etc. Dans chacun de ces états, le mécanisme est prêt à agir de la manière propre à cet état, sur toute paire de nombres qui peut être autorisée à entrer dans sa sphère d'action. Un seul de ces états de fonctionnement du moulin peut exister à la fois ; et la nature du mécanisme est également telle qu'une seule paire de nombres peut être reçue et traitée à la fois.

Afin que le moulin reçoive en permanence les bonnes paires de chiffres et qu'il puisse localiser correctement le résultat d'une opération effectuée sur n'importe quelle paire, chaque variable possède des cartes qui lui sont propres. Il y a d'abord une classe de cartes dont le rôle est de permettre au nombre inscrit sur la variable de passer dans le moulin pour y être traité. Ces cartes peuvent être appelées cartes d'approvisionnement. Elles fournissent au moulin la nourriture dont il a besoin. Chaque variable a, en second lieu, une autre classe de cartes, dont le rôle est de permettre à la variable de recevoir un numéro du moulin. Ces cartes peuvent être appelées cartes de réception. Elles régissent la localisation des résultats, qu'ils soient temporaires ou définitifs. Les cartes variables en général (y compris les deux classes précédentes) pourraient, nous semble-t-il, être encore mieux désignées comme cartes distributives, puisque c'est par leur intermédiaire que l'action des opérations, et les résultats de cette action, sont correctement distribués. »[40]

---

[37] Traduction des rédacteurs : « *The data being given, we must now put into the engine the cards proper for directing the operations in the case of the particular function chosen. These operations would in this instance be: First, six multiplications in order to get x^n (=98^7 for the above particular data). Secondly, one multiplication in order then to get $a \cdot x^n$ (=$5 \cdot 98^7$). In all, seven multiplications to complete the whole process. We may thus represent them: (×,×,×,×,×,×,×) or 7 (×).* »

[38] Traduction des rédacteurs : « *the same operation would be performed on different subjects of operation* »

[39] Traduction des rédacteurs : « *In determining the value of axn, the operations are homogeneous, but are distributed amongst different subjects of operation, at successive stages of the computation. It is by means of certain punched cards, belonging to the Variables themselves, that the action of the operations is so distributed as to suit each particular function.* »

[40] Traduction des rédacteurs : « *The Operation-cards merely determine the succession of operations in a general manner. They in fact throw all that portion of the mechanism included in the mill into a series of different states, which we may call the adding state, or the multiplying state, &c. respectively. In each of these states the mechanism is ready to act in the way peculiar to that state, on any pair of numbers which may be permitted to come within its sphere of action. Only one of these operating states of the mill can exist at a time; and the nature of the mechanism is also such that only one pair of numbers can be received and acted on at a time.*
Now, in order to secure that the mill shall receive a constant supply of the proper pairs of numbers in succession, and that it shall also rightly locate the result of an operation performed upon any pair, each

« Dans le cas ci-dessus de ax^n, les cartes-opérations se contentent d'ordonner sept multiplications, c'est-à-dire qu'elles ordonnent au moulin de se trouver sept fois de suite dans l'état de multiplication (sans aucune référence aux colonnes particulières dont les nombres doivent être pris en compte). Les cartes Variables distributives appropriées interviennent à chaque multiplication successive et provoquent les distributions requises pour le cas particulier. »[41]

For	x^{an}	the operations would be	$34\ (\times)$
...	$a \cdot n \cdot x$	... ...	$(\times, \times)$, or $2\ (\times)$
...	$\frac{a}{n} \cdot x$	... ...	$(\div, \times)$
...	$a + n + x$	... ...	$(+, +)$, or $2\ (+)$

« On peut faire en sorte que le moteur calcule toutes ces fonctions successivement. Une fois ax^n terminé, la fonction x^{an} peut être inscrite entre parenthèses à la place d'ax^n, et un nouveau calcul peut commencer (les cartes Opération et Variable appropriées pour la nouvelle fonction entrant bien sûr en jeu). Les résultats apparaîtraient alors sur V_5. Ainsi de suite pour un nombre quelconque de fonctions différentes des quantités a, n, x. Chaque résultat peut soit rester en permanence sur sa colonne pendant les calculs suivants, de sorte que lorsque toutes les fonctions ont été calculées, leurs valeurs existent simultanément sur V_4, V_5, V_6, etc. ; ou chaque résultat peut (après avoir été imprimé, ou utilisé d'une manière spécifique) être effacé, pour faire place à son successeur. Le carré sous V_4 devrait, dans ce dernier cas, porter successivement les fonctions ax^n, x^{an}, anx, etc. »[42]

Ada Lovelace indique que chaque colonne représente une fonction générale jusqu'à ce qu'une fonction spécifique lui soit attribuée par les cartes d'opérations et de variables introduites dans la machine. Le fonctionnement du mécanisme, réglé par ces cartes, développe alors explicitement la valeur de la fonction. Elle conclut « *Plus nous analysons la manière dont une telle machine accomplit ses processus et obtient ses résultats, plus nous percevons à quel point elle place distinctement sous une lumière vraie et juste les relations mutuelles et la connexion des différentes étapes de l'analyse mathématique ; à quel point elle sépare clairement les choses qui sont en réalité distinctes et indépendantes, et unit celles qui sont mutuellement dépendantes.* »[43]

Variable has cards of its own belonging to it. It has, first, a class of cards whose business it is to allow the number on the Variable to pass into the mill, there to be operated upon. These cards may be called the Supplying-cards. They furnish the mill with its proper food. Each Variable has, secondly, another class of cards, whose office it is to allow the Variable to receive a number from the mill. These cards may be called the Receiving-cards. They regulate the location of results, whether temporary or ultimate results. The Variable-cards in general (including both the preceding classes) might, it appears to us, be even more appropriately designated the Distributive-cards, since it is through their means that the action of the operations, and the results of this action, are rightly distributed. »

[41] Traduction des rédacteurs : « *In the above case of ax^n, the Operation-cards merely order seven multiplications, that is, they order the mill to be in the multiplying state seven successive times (without any reference to the particular columns whose numbers are to be acted upon). The proper Distributive Variable-cards step in at each successive multiplication, and cause the distributions requisite for the particular case.* »

[42] Traduction des rédacteurs : « *The engine might be made to calculate all these in succession. Having completed ax^n, the function x^{an} might be written under the brackets instead of ax^n, and a new calculation commenced (the appropriate Operation and Variable-cards for the new function of course coming into play). The results would then appear on V_5. So on for any number of different functions of the quantities a, n, x. Each result might either permanently remain on its column during the succeeding calculations, so that when all the functions had been computed, their values would simultaneously exist on V_4, V_5, V_6, &c.; or each result might (after being printed off, or used in any specified manner) be effaced, to make way for its successor. The square under V_4 ought, for the latter arrangement, to have the functions ax^n, x^{an}, anx, &c. successively inscribed in it.* »

[43] Traduction des rédacteurs : « *The further we analyse the manner in which such an engine performs its processes and attains its results, the more we perceive how distinctly it places in a true and just light the*

La note C, très courte, traite de l'utilisation des cartes perforées avec un parallèle de leur utilisation dans le métier à tisser Jacquard. Faisant remarquer la lourdeur ou la complexité des cartes dans le tissage, Ada Lovelace indique l'amélioration faite pour la machine analytique afin d'en simplifier la conception et le nombre. Cette note est mentionnée et utilisée dans la note G.

La note D est un préalable à la suite de la lecture « *Nous avons représenté la solution de ces deux équations ci-dessous, avec tous les détails, dans un diagramme semblable à ceux utilisés dans la Note B ; mais des explications supplémentaires sont nécessaires, d'une part pour rendre ce cas plus compliqué parfaitement clair, et d'autre part pour la compréhension de certaines indications et notations non utilisées dans les diagrammes précédents. Il est recommandé à ceux qui voudraient comprendre complètement la Note G de prêter une attention particulière au contenu de la présente note, faute de quoi ils ne comprendraient pas la notation et les indications similaires appliquées à un cas plus compliqué.* »[44]

Number of Operations	Nature of Operations	Variables for Data						Working Variables									Variables for Results	
		${}^{1}V_0$	${}^{1}V_1$	${}^{1}V_2$	${}^{1}V_3$	${}^{1}V_4$	${}^{1}V_5$	${}^{0}V_6$	${}^{0}V_7$	${}^{0}V_8$	${}^{0}V_9$	${}^{0}V_{10}$	${}^{0}V_{11}$	${}^{0}V_{12}$	${}^{0}V_{13}$	${}^{0}V_{14}$	${}^{0}V_{15}$	${}^{0}V_{16}$
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		$\boxed{m}$	$\boxed{n}$	$\boxed{d}$	$\boxed{m'}$	$\boxed{n'}$	$\boxed{d'}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{\frac{dn'-d'n}{mn'-m'n} = x}$	$\boxed{\frac{d'm-dm}{mn'-m'n} = y}$
1	×	m	....	....	....	n'	....	mn'										
2	×	....	n	....	m'	....	....	....	$m'n$									
3	×	....	....	d	....	....	....	....	....	dn'								
4	×	....	0	....	....	....	d'	....	....	....	$d'n$							
5	×	0	....	....	....	....	0	....	....	....	....	$d'm$						
6	×	....	....	0	0	....	....	....	....	....	....	.....	dm'					
7	−	....	....	....	....	....	....	0	0	....	....	.....	.....	$(mn' - m'n)$				
8	−	....	....	....	....	....	....	....	....	0	0	.....	.....	....	$(dn' - d'n)$			
9	−	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	0	0	....	....	$(d'm - dm')$		
10	÷	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.....	.....	$(mn' - m'n)$	0	....	$\frac{dn'-d'n}{mn'-m'n} = x$	
11	÷	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.....	.....	0	....	0	....	$\frac{d'm-dm'}{mn'-m'n} = y$

Figure 14 : Extrait de la note D, on retrouve la représentation des colonnes de variables de la note B, source [34]

« *Dans tous les calculs, les colonnes des variables utilisées peuvent être divisées en trois classes :*
1ère. Celles sur lesquelles les données sont inscrites :
2ième. Celles destinées à recevoir les résultats finaux :
3ième. Celles destinées à recevoir des combinaisons intermédiaires et temporaires de données primitives qui ne doivent pas être conservées de façon permanente, mais qui sont simplement nécessaires pour travailler en vue d'atteindre les résultats finaux. Ces combinaisons pourraient à juste titre s'appeler des données secondaires. […]. Les colonnes qui les reçoivent sont à juste titre appelées Variables de travail […]. »[45]

---

mutual relations and connexion of the various steps of mathematical analysis; how clearly it separates those things which are in reality distinct and independent, and unites those which are mutually dependent. »

44 Traduction des rédacteurs : « *We have represented the solution of these two equations below, with every detail, in a diagram similar to those used in Note B; but additional explanations are requisite, partly in order to make this more complicated case perfectly clear, and partly for the comprehension of certain indications and notations not used in the preceding diagrams. Those who may wish to understand Note G completely, are recommended to pay particular attention to the contents of the present Note, or they will not otherwise comprehend the similar notation and indications when applied to a much more complicated case.* »

45 Traduction des rédacteurs : « *In all calculations, the columns of Variables used may be divided into three classes:* »

C'est encore une note assez longue mais très explicative et illustrée.

La note E présente un exemple qu'Ada Lovelace juge simple et bref à présenter « *Les équations du premier exemple des Mémoires* (voir encadré extrait de l'article de Menabrea, pages 12-16) *sont en fait un problème plus compliqué que ce présent problème.* »[46] La présentation des différentes phases du calcul est assez longue mais parfaitement détaillée.

La note F commence par cette phrase « *Il existe un beau portrait tissé de Jacquard, dont la fabrication a nécessité 24000 cartes.* »[47] et poursuit par « *La possibilité de répéter les cartes, évoqué par M. Menabrea, et expliqué plus en détail dans la Note C, réduit considérablement le nombre de cartes requises. Il est évident que cette amélioration mécanique est particulièrement applicable partout où des cycles se produisent dans les opérations mathématiques, et que, dans la préparation des données pour les calculs par la machine, il est souhaitable d'organiser l'ordre et la combinaison des processus en vue de les obtenir autant que possible symétriquement et en cycles, afin que les avantages mécaniques du système de support puissent être appliqués au maximum.* »[48] La note détaille ensuite, sur un exemple assez différent de ceux déjà présentés dans les notes précédentes, comment les systèmes combinés de cycle et de support peuvent diminuer notablement les cartes nécessaires.

Nous arrivons à la note G, la dernière et la plus célèbre. « *Nous terminerons ces Notes en suivant en détail les étapes par lesquelles la machine pourrait calculer les Nombres de Bernoulli, ceci étant (dans la forme sous laquelle nous le déduirons) un exemple assez compliqué de ses puissances. La manière la plus simple de calculer ces nombres serait directement à partir du développement :*

$$\frac{x}{e^x-1}=\frac{1}{1+\frac{x}{2}+\frac{x^2}{2.3}+\frac{x^3}{2.3.4}+\&c}$$

qui est en fait un cas particulier du développement de

$$\frac{a+bx+cx^2+\&c}{a'+b'x+c'x^2+\&c}$$

mentionné dans la Note E. »[49]

1st. Those on which the data are inscribed:
2ndly. Those intended to receive the final results:
3rdly. Those intended to receive such intermediate and temporary combinations of the primitive data as are not to be permanently retained, but are merely needed for working with, in order to attain the ultimate results. Combinations of this kind might properly be called secondary data. […] The columns which receive them are rightly named Working-Variables […] »

[46] Traduction des rédacteurs : « *The equations in first example in the Memoir are in fact a more complicated problem than the present one.* »

[47] Traduction des rédacteurs : « *There is in existence a beautiful woven portrait of Jacquard, in the fabrication of which 24,000 cards were required.* »

[48] Traduction des rédacteurs : « *The power of repeating the cards, alluded to by M. Menabrea, and more fully explained in Note C., reduces to an immense extent the number of cards required. It is obvious that this mechanical improvement is especially applicable wherever cycles occur in the mathematical operations, and that, in preparing data for calculations by the engine, it is desirable to arrange the order and combination of the processes with a view to obtain them as much as possible symmetrically and in cycles, in order that the mechanical advantages of the backing system may be applied to the utmost.* »

[49] Traduction des rédacteurs : « *We will terminate these Notes by following up in detail the steps through which the engine could compute the Numbers of Bernoulli, this being (in the form in which we shall deduce it) a rather complicated example of its powers. The simplest manner of computing these numbers would be from the direct expansion* (équation) *which is in fact a particular case of the development of* (équation) *mentioned in Note E.* » ($\&c$ étant mis pour etc.)

Nota : Les nombres de Bernoulli sont ainsi nommés par Abraham de Moivre[50] en l'honneur de Jacques Bernoulli[51] qui fût le premier à les étudier (voir la ressource « *La famille Bernoulli, lequel a fait quoi ?* » [35]).

La note G est longue, riche en détails des opérations successives que doit effectuer la machine analytique pour calculer les Nombres de Bernoulli. Un tableau (figure 15) décrit étape par étape le fonctionnement du calcul : il s'agit là du premier algorithme de l'histoire destiné à une machine ! Cet algorithme très détaillé comporte la première boucle conditionnelle, véritable concept informatique. Il est d'ailleurs souvent considéré comme le premier véritable programme informatique au monde. Ada Lovelace propose une description avec un formalisme, alors inexistant, tendant vers un langage destiné à être exécuté sur une machine et devient ainsi la première programmatrice informatique au monde.

Number of Operation	Nature of Operation	Variables acted upon	Variables receiving results	Indication of change in the value on any Variable	Statement of Results	Data			Working Variables										Result Variables			
						$^1V_1$	$^1V_2$	$^1V_3$	$^0V_4$	$^0V_5$	$^0V_6$	$^0V_7$	$^0V_8$	$^0V_9$	$^0V_{10}$	$^0V_{11}$	$^0V_{12}$	$^0V_{13} \cdots$	$^1V_{21}$	$^1V_{22}$	$^1V_{23}$	$^0V_{24} \cdots$
						0 0 1 $\boxed{1}$	0 0 2 $\boxed{2}$	0 0 4 $\boxed{n}$	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	B in a dec. fract. $\boxed{B_1}$	B in a dec. fract. $\boxed{B_3}$	B in a dec. fract. $\boxed{B_5}$	0 0 0 $\boxed{B_7}$
1	×	$^1V_2 \times {}^1V_3$	$^1V_4, {}^1V_5, {}^1V_6$	$^1V_2 = {}^1V_2$ $^1V_3 = {}^1V_3$	$= 2n$	……	2	n	$2n$	$2n$	$2n$											
2	−	$^1V_4 - {}^1V_1$	$^2V_4$ ……	$^1V_4 = {}^2V_4$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= 2n - 1$	1	……	……	$2n-1$													
3	+	$^1V_5 + {}^1V_1$	$^2V_5$ ……	$^1V_5 = {}^2V_5$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= 2n + 1$	1	……	……	……	$2n+1$												
4	÷	$^2V_5 \div {}^2V_4$	$^1V_{11}$ ……	$^2V_5 = {}^0V_5$ $^2V_4 = {}^0V_4$	$= \frac{2n-1}{2n+1}$	……	……	……	0	0	……	……	……	……	……	$\frac{2n-1}{2n+1}$						
5	÷	$^1V_{11} \div {}^1V_2$	$^2V_{11}$ ……	$^1V_{11} = {}^2V_{11}$ $^1V_2 = {}^1V_2$	$= \frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1}$	……	2	……	……	……	……	……	……	……	……	$\frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1}$						
6	−	$^0V_{13} - {}^2V_{11}$	$^1V_{13}$ ……	$^2V_{11} = {}^0V_{11}$ $^0V_{13} = {}^1V_{13}$	$= -\frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1} = A_0$	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	0	……	$= -\frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1} = A_0$				
7	−	$^1V_3 - {}^1V_1$	$^1V_{10}$ ……	$^1V_3 = {}^1V_3$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= n - 1 (= 3)$	1	……	n	……	……	……	……	……	……	$n-1$							
8	+	$^1V_2 + {}^0V_7$	$^1V_7$ ……	$^1V_2 = {}^1V_2$ $^0V_7 = {}^1V_7$	$= 2 + 0 = 2$	……	2	……	……	……	……	2										
9	÷	$^1V_6 \div {}^1V_7$	$^3V_{11}$ ……	$^1V_6 = {}^1V_6$ $^0V_{11} = {}^3V_{11}$	$= \frac{2n}{2} = A_1$	……	……	……	……	……	$2n$	2	……	……	……	$\frac{2n}{2} = A_1$						
10	×	$^1V_{21} \times {}^3V_{11}$	$^1V_{12}$ ……	$^1V_{21} = {}^1V_{21}$ $^3V_{11} = {}^3V_{11}$	$= B_1 \cdot \frac{2n}{2} = B_1 A_1$	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	$\frac{2n}{2} = A_1$	$B_1 \cdot \frac{2n}{2} = B_1 A_1$	……	B_1			
11	+	$^1V_{12} + {}^1V_{13}$	$^2V_{13}$ ……	$^1V_{12} = {}^0V_{12}$ $^1V_{13} = {}^2V_{13}$	$= -\frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1} + B_1 \cdot \frac{2n}{2}$	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	0	$\left\{-\frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1} + B_1 \cdot \frac{2n}{2}\right\}$				
12	−	$^1V_{10} - {}^1V_1$	$^2V_{10}$ ……	$^1V_{10} = {}^2V_{10}$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= n - 2 (= 2)$	1	……	……	……	……	……	……	……	……	$n-2$							
13	−	$^1V_6 - {}^1V_1$	$^2V_6$ ……	$^1V_6 = {}^2V_6$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= 2n - 1$	1	……	……	……	……	$2n-1$											
14	+	$^1V_1 + {}^1V_7$	$^2V_7$ ……	$^1V_1 = {}^1V_1$ $^1V_7 = {}^2V_7$	$= 2 + 1 = 3$	1	……	……	……	……	……	3										
15	÷	$^2V_6 \div {}^2V_7$	$^1V_8$ ……	$^2V_6 = {}^2V_6$ $^2V_7 = {}^2V_7$	$= \frac{2n-1}{3}$	……	……	……	……	……	$2n-1$	3	$\frac{2n-1}{3}$									
16	×	$^1V_8 \times {}^3V_{11}$	$^4V_{11}$ ……	$^1V_8 = {}^0V_8$ $^3V_{11} = {}^4V_{11}$	$= \frac{2n}{2} \cdot \frac{2n-1}{3}$	……	……	……	……	……	……	……	0	……	……	$\frac{2n}{2} \cdot \frac{2n-1}{3}$						
17	−	$^2V_6 - {}^1V_1$	$^3V_6$ ……	$^2V_6 = {}^3V_6$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= 2n - 2$	1	……	……	……	……	$2n-2$											
18	+	$^1V_1 + {}^2V_7$	$^3V_7$ ……	$^2V_7 = {}^3V_7$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= 3 + 1 = 4$	1	……	……	……	……	……	4										
19	÷	$^3V_6 \div {}^3V_7$	$^1V_9$ ……	$^3V_6 = {}^3V_6$ $^3V_7 = {}^3V_7$	$= \frac{2n-2}{4}$	……	……	……	……	……	$2n-2$	4	……	$\frac{2n-2}{4}$	……							
20	×	$^1V_9 \times {}^4V_{11}$	$^5V_{11}$ ……	$^1V_9 = {}^0V_9$ $^4V_{11} = {}^5V_{11}$	$= \frac{2n}{2} \cdot \frac{2n-1}{3} \cdot \frac{2n-2}{4} = A_3$	……	……	……	……	……	……	……	……	0		$\left\{\frac{2n}{2} \cdot \frac{2n-1}{3} \cdot \frac{2n-2}{4}\right\} = A_3$						
21	×	$^1V_{22} \times {}^5V_{11}$	$^0V_{12}$ ……	$^1V_{22} = {}^1V_{22}$ $^0V_{12} = {}^2V_{12}$	$= B_3 \cdot \frac{2n}{2} \cdot \frac{2n-1}{3} \cdot \frac{2n-2}{4} = B_3 A_3$	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	0	$B_3 A_3$	……	……	B_3		
22	+	$^2V_{12} + {}^2V_{13}$	$^3V_{13}$ ……	$^2V_{12} = {}^0V_{12}$ $^2V_{13} = {}^3V_{13}$	$= A_0 + B_1 A_1 + B_3 A_3$	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	0	$\{A_0 + B_1 A_1 + B_3 A_3\}$				
23	−	$^2V_{10} - {}^1V_1$	$^3V_{10}$ ……	$^2V_{10} = {}^3V_{10}$ $^1V_1 = {}^1V_1$	$= n - 3 (= 1)$	1	……	……	……	……	……	……	……	……	$n-3$							
					Here follows a repetition of Operations thirteen to twenty-three																	
24	+	$^4V_{13} + {}^0V_{24}$	$^1V_{24}$ ……	$^4V_{13} = {}^0V_{13}$ $^0V_{24} = {}^1V_{24}$	$= B_7$	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	B_7
25	+	$^1V_1 + {}^1V_3$	$^1V_3$ ……	$^1V_1 = {}^1V_1$ $^1V_3 = {}^1V_3$ $^5V_6 = {}^0V_6$ $^5V_7 = {}^0V_7$	$= n + 1 = 4 + 1 = 5$ by a Variable-card. by a Variable-card.	1	……	$n+1$	……	……	0	0										

Figure 15 : Le tableau de la note G, source [34]

Les sept notes ajoutées augmentent considérablement l'article descriptif de Luigi Menabrea et l'intérêt de la machine de Babbage. Elles démontrent le concept d'une machine universelle programmable, capable d'exécuter une série illimitée de tâches interchangeables. Cette machine universelle ne se limitant pas aux nombres, utiliserait des données (stockées sur des cartes perforées) pour gérener de nouvelles données par des opérations mécaniques commandées étape par étape. Ces opérations mécaniques qu'Ada Lovelace décrit dans ses notes ont les mêmes fonctions que sauts conditionnels, les boucles et les traitements parallèles des premiers ordinateurs

[50] Abraham de Moivre (1667-1754), mathématicien français

[51] Jacques Bernoulli (1654-1705), mathématicien et physicien suisse, le premier d'une longue lignée familiale, dit Jacques I

électroniques. Ada lovelace a donc rédigé le premier traité de conception et de fonctionnement d'un ordinateur numérique moderne.

Charles Babbage avait conçu sa machine analytique dans un but calculatoire et Ada Lovelace en a perçu le potentiel bien au-delà des calculs. Elle comprend que les variables de la machine pourraient être d’autres caractères, comme des notes de musique ou des lettres. Elle perçoit également les concepts que nous lions actuellement aux ordinateurs, comme les algorithmes, le langage propre aux programmes donc les logiciels. Ada Lovelace est parfaitement consciente que la machine analytique de Babbage telle qu’elle l’envisage, ne créé rien par elle-même, mais qu’elle est une exécutante efficace de ce que l’humain demande et maîtrise. Ada pressent que ces machines seront un partenaire de l’imagination humaine. Les plus de 170 ans qui nous séparent de sa publication lui donnent entièrement raison.

La machine analytique n’a jamais été construite du vivant d’Ada Lovelace ni même de son concepteur, qui lui a survécut presque 20 ans. Cette non-réalisation tient davantage de problèmes de financement et de conflits de personnalité (entre Charles Babbage et de potentiels donateurs) que de défauts de conception.

5 - Conclusion

Ada Lovelace est, non seulement la première femme mais la première personne au monde à rédiger et publier un algorithme informatique. Rare femme scientifique dans l’Angleterre corsetée du XIX^e^ siècle, la courte vie d’Ada Lovelace ne lui a permis de laisser nombre de travaux. Sa publication, objet de cette ressource, avec la note G pourtant si précurseur, a été oubliée avant d’être redécouverte tardivement au XX^e^ siècle ! Sa traduction de l’article de Luigi Menebrea et les annexes ajoutées prouvent son étude profonde de la machine à différence de Charles Babbage. Sans l’avoir jamais vue, Ada Lovelace a perçu et anticipé ce que ce type de machine pourrait être et faire. Non seulement ses travaux ont été oubliés mais également son nom, nettement moins populaire que, par exemple et pour rester dans le même domaine, Blaise Pascal[52] et sa pascaline ou qu’Alan Turing[53] et sa machine éponyme.

Ada Lovelace est relativement connue dans les pays du monde anglo-saxon ou encore en Allemagne, notamment dans les milieux féministes. En France, son nom est assez méconnu en dehors du milieu des développeurs informatiques : le langage Ada est un langage de programmation conçu par CII[54]-Honeywell Bull ; nommé en l’honneur d’Ada Lovelace, ce langage s’inspire du précédent langage conçu à la CII, le LIS (Langage d'Implémentation de Systèmes), pour permettre le développement de systèmes d'exploitation portables.

Figure 16 : Langage Ada, source Wikicommons

[52] Blaise Pascal (1623-1662), mathématicien et physicien français, inventeur de la première machine à calculer mécanique
[53] Alan Turing (1912-1954), mathématicien et cryptologue britannique
[54] Compagnie Internationale pour l’Informatique, société française absorbée par Honeywell-Bull en 1975

En dehors de cet hommage du milieu informatique, il existe une Journée Ada Lovelace (Ada Lovelace Day), évènement annuel (fondé en 2009 au Royaume-Uni) célébré le deuxième mardi d'octobre pour sensibiliser aux contributions des femmes pour les Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (STIM, ou STEM en anglais) ; en 2023, la Journée Ada lovelace était le mardi 10 octobre, en 2024 ce sera le mardi 8 octobre.

Quelques rues en France portent son nom, un timbre édité par la poste française en 2022 est à son effigie, cependant Ada Lovelace est un nom peu connu dans la culture populaire. On le retrouve ou simplement le prénom dans la fiction, des films ou personnage de bandes dessinées ou encore jeux vidéo. Notons que dans le roman de de William Gibson et Bruce Sterling publié en 1990, *La Machine à différences* (*The Difference Engine*), Ada Lovelace est un des personnages principaux de cette uchronie basée sur le thème « si Charles Babbage avait réussi à construire ses machines à différences ».

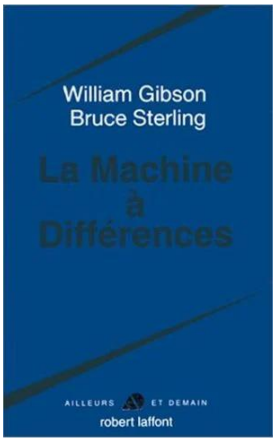


Figure 17 : Timbre Ada Lovelace, France 2022 et couverture du livre « La machine à différences »

Pour visualiser le fonctionnement d'une machine à différences, une version simplifiée, limitée aux calculs des polynômes du second degré, a été construite en pièces de Lego®. Cette vidéo montre le calcul de carrés entiers de 2 à 8 (résultats : 4, 9, 16, 25, 36, 49 et 64).

Références :

[1]: Domaine public, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28131684

[2]: Lord, Byron, wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Lord_Byron

[3]: Anne Isabella Milbanke, wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Anne_Isabella_Milbanke

[4]: Ada Lovelace, wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Ada_Lovelace

[5]: Ada Lovelace (1815-1852), première programmeuse et pionnière de l'informatique - Bibliographie sélective, BnF, https://www.bnf.fr/fr/ada-lovelace-1815-1852-premiere-programmeuse-et-pionniere-de-linformatique-bibliographie-selective

[6]: Ada Lovelace (10 décembre 1815 [Londres] - 27 novembre 1852 [Londres]), Bibm@th.net, https://www.bibmath.net/bios/index.php?action=affiche&quoi=lovelace

[7]: Ada Lovelace, la grande ordinatrice, France Culture, https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-methode-scientifique/ada-lovelace-la-grande-ordinatrice-5403084

[8]: William King-Noel, wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/William_King-Noel

[9]: Ada Lovelace : destin brisé d'une pionnière de l'IA, CScience, juillet 2020, https://www.cscience.ca/2020/07/08/ada-lovelace-linventrice-de-la-programmation/

[10]: Domaine public, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5086529

[11]: Domaine public, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Byron_1813_by_Phillips.jpg#/media/Fichier:Byron_1813_by_Phillips.jpg

[12]: Mary Somerville, wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Mary_Somerville

[13]: Mary Somerville, femme de sciences et de lettre (1780-1872), Editions sciences et bien commun, https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/femmessavantes3/chapter/mary-somerville/

[14]: Mary Fairfax, geni.com, https://www.geni.com/people/Mary-Fairfax/6000000009209693914

[15]: Mary Fairfax Greigh Somerville, phoyoniques.com, https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2016/02/photon201681p18.pdf

[16]: Domaine public, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=21865703

[17]: On the connections of the physical sciences, Mrs. Somervillle, 1834, https://archive.org/details/connectionphysi00somegoog/page/n10/mode/2up?ref=ol&view=theater

[18]: La connexion des sciences physiques, Mary Somerville, 1837,https://www.e-rara.ch/zut/content/zoom/17055734De

[19]: Charles Babbage, wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage

[20]: Charles Babbage, biographie, http://users.polytech.unice.fr/~strombon/Formation/TL.2000/Groupe1/babbage/biog.html

[21]: Figures de l'informatique, Charles Babbage, inria, https://aconit.inria.fr/omeka/exhibits/show/figures-de-l-informatique/precurseurs/charles-babbage.html

[22]: Charles Babbage, wikipédia, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15392737

[23]: Une partie de la machine à différences de Charles Babbage, Andrew Dunn, wikipédia, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=87413

[24]: Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage par Mr. L. -F. Menabrea, capitaine du génie militaire, Bibliothèque universelle de Genève, Tome 41eme, 1842, https://archive.org/details/TO01056056/page/n1/mode/2up

[25]: Mécanismes Jacquard au Musée des Arts et Métiers de Paris, David Monniaux, wikipédia, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=959006

[26]: Cartes utilisées par Charles Babbage pour sa machine analytique, Karoly Lorentey, wikipédia, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11833648

[27]: Prototype d'une partie de la machine analytique de Charles Babbage, Bruno Barral, wikipédia, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6839854

[28]: Le premier article scientifique de l'histoire de l'informatique ? F. Rechenmann, 217, bibnum, https://journals.openedition.org/bibnum/542?lang=en

[29]: Charles Babbage et Ada Lovelace, précurseurs de l'informatique – les héros du progrès, A. Hammond, décembre 2021, Contrepoints, https://www.contrepoints.org/2021/12/06/387398-charles-babbage-et-ada-lovelace-precurseurs-de-linformatique-les-heros-du-progres-49

[30]: Ada Lovelace rencontre Charles Babbage, 5 juin 1833, Espace Turing, https://www.espace-turing.fr/Ada-Lovelace-rencontre-Charles.html

[31]: Mathematical treasure : Ada Lovelace's Notes on the Analytic Engine, F. J. Swetz, Mathematical Association of America, https://maa.org/press/periodicals/convergence/mathematical-treasure-ada-lovelaces-notes-on-the-analytic-engine

[32]: Portait du Général Menabrea, Wikipédia, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=131775280

[33]: Ada Lovelace (1815-1852), première programmeuse et pionnière de l'informatique – Bibliographie sélective et commentée, BnF, https://www.bnf.fr/sites/default/files/2021-05/Ada%20Lovelace_0.pdf

[34]: The analytical Engine Invented by Charles Babbage, by L. F. Menabrea, from the Bibliothèque Universelle de Genève, October 1842, No. 82, With notes upon the Memoir by the Translator Ada Augusta, Countess of Lovelace, https://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html

[35]: La famille Bernoulli, lequel a fait quoi ? H. Horsin Molinaro, M. Poncelet, octobre 2023, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/la-famille-bernoulli-lequel-a-fait-quoi