0965

E.N.S.S.I.B
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DES SCIENCES DE L'INFORMATION
ET DES BIBLIOTHEQUES

UNIVERSITE
CLAUDE BERNARD
LYON I

DESS en INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE

Rapport de recherche bibliographique

Histoire des machines à calculer (1850-1914)

Florence DUMONTIER

Sous la direction de

Anne-Marie DECAILLOT

Maître de Conférence de mathématiques
Etablissement : Université René Descartes - Paris V

1995

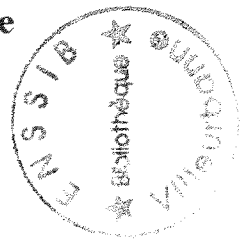
2

E.N.S.S.I.B
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DES SCIENCES DE L'INFORMATION
ET DES BIBLIOTHEQUES

UNIVERSITE
CLAUDE BERNARD
LYON I

DESS en INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE

Rapport de recherche bibliographique



Histoire des machines à calculer (1850-1914)

Florence DUMONTIER

Sous la direction de

Anne-Marie Decaillot

Maître de conférence
Etablissement : Université René Descartes - Paris V

1995
±D
2

1995

Titre : Histoire des machines à calculer (1850-1914)

Auteur : DUMONTIER Florence

Résumé : Ce bilan des inventions faites entre 1850 et 1914, en matière de machines à calculer, s'articule autour de trois thèmes : les instruments arithmétiques, les machines à calculer arithmétiques et les machines utilisant les cartes perforées

Mots-clés : Histoire-Automatisation-Arithmétique-Calcul-Machine à calculer[1]

Abstract : This assessment of inventions between 1850 and 1914 concerning calculating machines is composed of three parts : counting instruments, calculating machines and machines using punched cards.

Keywords : History-Automation-Arithmetic-Calculation-Calculating Machine[2]

[1] Ce terme n'est pas un mot-clé Pascal
[2] Même remarque

SOMMAIRE

I METHODOLOGIE 4
1 Introduction 4
2 Première approche 4
3 Sélection des mot-clés 5
4 Recherche sur CD-ROM 5
4.1 BNF 5
4.2 Electre 6
4.3 BNB 7
5 Interrogation des bases de données en ligne 7
5.1 Premières interrogations 7
5.2 Interrogation de Pascal et MathSci 8
5.3 Interrogation de Historical Abstracts 9
5.4 Interrogation de Francis 10
6 Localisation des documents 11
Conclusion 11

II SYNTHESE 12
Introduction 12
1 Les instruments arithmétiques 12
1.1 Historique rapide 12
1.2 Instruments arithmétiques inventés entre 1850 et 1940 13
1.3 Conclusion 14
2 Les machines à calculer arithmétiques 14
2.1 Historique rapide 14
a. Schickard et son Horloge à Calcul 14
b. Blaise Pascal et sa Pascaline 15
c. Leibnitz et Thomas de Colmar 15
d. Charles Babbage et sa Machine à Différences 15
2.2 Entre 1850 et 1914 15
a. La descendance de l'arithmomètre de Thomas 15
b. Le clavier numérique 16
c. Dispositif d'impression 16
d. Multiplication Directe 17
e. Division Directe 17
f. Automatisation complète des quatre opérations 17
g. Calcul Electromécanique 17
h. La descendance de la Machine à Différences de Babbage 17
3 Les machines à cartes perforées 18
3.1 Introduction 18
3.2 Babbage et sa Machine Analytique 18
3.3 La machine d'Hollerith 18
Conclusion 19

III Bibliographie 20
1 Livres et Rapports 20
2 Articles 23

Annexe : adresses des Bibliothèques 28

I METHODOLOGIE

1 Introduction

Madame Anne-Marie Decaillot, ma directrice de recherche, appartient au Groupe d'Histoire des Sciences d'Orsay qui a pour objet le dépouillement des congrès de l'AFAS entre 1870 et 1914. A l'époque, l'AFAS, Association Française pour l'Avancement des Sciences était une société savante de vulgarisation et de diffusion de connaissances pluridisciplinaires. Elle maintenait l'intérêt autour des questions scientifiques. Lucas, Genaille, Tchebychef et Henri Poincaré ont pris part à ces congrès. Madame Decaillot est spécialisée en théorie des nombres et en arithmétique et s'interesse actuellement à l'histoire des machines à calculer.

2 Première approche

Madame Decaillot m'a présenté le sujet de cette recherche bibliographique à l'aide de quelques ouvrages généraux. J'ai approfondi ma connaissance du sujet par trois moyens :

- Je suis allée voir l'exposé de troisième année de Pierre Ernst, étudiant à l'INSA. Une large partie de cet exposé, qui traitait de l'histoire de l'informatique, était consacré aux machines à calculer. J'ai pu ainsi découvrir les grandes étapes de leur histoire.
- J'ai consulté le catalogue papier de la bibliothèque universitaire de Lyon I. Il contient les références des livres acquis avant 1990. En regardant aux rubriques "Informatique", "Ordinateur" et "Machine à calculer", j'ai repéré cinq notices. Cependant, l'indexation étant très réduite (deux descripteurs au maximum), je me suis aperçue après emprunt que seuls trois ouvrages étaient instructifs. J'ai interrogé aussi le catalogue informatique de cette bibliothèque. Il contient les notices des ouvrages acquis depuis 1990. Seules trois références m'ont semblé intéressantes. Après emprunt des livres correspondants, un seul a été retenu.
- J'ai interrogé le catalogue de la bibliothèque de l'ENSSIB. Deux références pertinentes ont été trouvées avec les descripteurs "Histoire" et "Informatique", trois autres avec le descripteur "Ordinateurs".

Ces différentes démarches m'ont aidé à mieux comprendre le sujet de cette note de synthèse. J'ai pu ainsi apprendre le vocabulaire de base le concernant ainsi que les noms des principaux inventeurs de machines à calculer.

3 Sélection des mot-clés

Cette sélection s'est faite avec ma directrice de recherche.

Termes français :
histoire[1]
mathématiques-arithmétique
calcul artificiel-calcul arithmétique
informatique-ordinateur
machine à calculer-calculateur-instrument arithmétique
mécanisation-automatisation

Termes anglais :
history
mathematics-arithmetic
computer-computing machine
adding machine-calculator-counting instrument-calculating machine
automation-automatization-mechanization

4 Recherche sur CD-ROM

Madame Decaillot était interessée aussi bien par des ouvrages généraux que par des articles. Les CD-ROM de l'ENSSIB m'ont permis de trouver la majorité des références d'ouvrages généraux qui se trouvent dans la bibliographie de cette note de synthèse.

4.1 BNF

Ce CD-ROM contient les notices des livres entrés par dépôt légal à la Bibliothèque Nationale de France, soit à peu près 780 000 enregistrements. J'ai tenté sur ce CD-ROM de nombreuses requêtes. Je ne rendrai compte ici que de celles qui ont abouti à un nombre de références pas trop élevé et différent de 0. "mc" signifie mot-clé, "cs" combinaison de recherche. Le "$" représente la troncature à droite.

[1] Les mot-clés retenus après des essais d'interrogation sont en gras

	Nombre de références trouvées	Nombre de références pertinentes	Bruit
Première interrogation			
1. mc=histo$			
2. mc=calcul$			
3. cs=1 et cs=2	14	3	78.6 %
Seconde interrogation			
1. mc=histo$			
2. mc=ordinateur$			
3. cs=1 et cs=2	16	1 [1]	93,7 %
Troisième interrogation			
1. mc=machine$			
2. mc=histo$			
3. cs=1 et cs=2	46	1	97,8 %

La consultation du CD-ROM BNF a donc permis de trouver trois références.

4.2 Electre

Le CD-ROM Electre contient les références des livres disponibles publiés par des éditeurs français ou par des éditeurs étrangers en français, soit 350 000 notices. Le contenu d'Electre est donc proche de celui de BNF. J'aurais pu me passer de consulter ce CD-ROM.

	Nombre de références trouvées	Nombre de références pertinentes	Bruit
Première interrogation			
histo$ et calcul$	20	2	90 %
Seconde interrogation			
histo$ et ordinateur$	27	2	92,6 %
Troisième interrogation			
histo$ et informati$	trop de références		

Les références pertinentes de la seconde question sont les mêmes que celles de la première. Une des deux référence avait été trouvée lors de la seconde interrogation de BNF. La consultation du CD-ROM Electre n'a fourni qu'une référence nouvelle par rapport à BNF.

[1] Cette référence avait déjà été trouvée lors de la première interrogation.

4.3 BNB

Ce CD-ROM recense la Bibliographie Nationale anglaise. Il contient plus de 1,2 millions de notices bibliographiques. Ses deux volumes couvrent toute l'édition en Grande-Bretagne et en Irlande depuis 1950. L'ENSSIB possède le volume couvrant la période de 1986 à nos jours.

	Nombre de références trouvées	Nombre de références pertinentes	Bruit
Première interrogation			
1. mc=histo$			
2. mc=calcul$			
3. cs=1 et cs=2	15	4	73,3 %
Seconde interrogation			
1. mc=histo$			
2. mc=computer$			
3. cs=1 et cs=2	55	3	94,54 %

En deux interrogations, le CD-ROM BNB a donné sept références supplémentaires. Ceci peut s'expliquer par le fait que les auteurs anglais ont beaucoup plus écrit sur notre sujet que leurs équivalents français.

5 Interrogation des bases de données en ligne

Les bases interrogées ont été sélectionnées à l'aide du Répertoire des Banques de Données Professionnelles 1993 de l'ADBS, par croisement des domaines "Informatique", "Histoire" et "Mathématiques". Les bases retenues sont :

- **Sous le serveur DIALOG** : Pascal, MathSci, Historical Abstracts
- **Sous le serveur QUESTEL** : Francis

5.1 Premières interrogations

Une première difficulté est apparue lors de l'interrogation de Pascal au cours des Travaux Dirigés de Monsieur Jean-Pierre Lardy, responsable de l'URFIST de la région Lyon Rhône Alpes Auvergne Bourgogne. Pascal, comme MathSci, ne permet pas d'introduire une date dans une question[1]. De plus, je ne savais pas du tout comment pouvaient être indexés, dans cette base, les documents que je recherchais. J'ai effectué une première interrogation, par mots de la notice, en utilisant les termes sélectionnés auparavant. Le résultat ne fut pas concluant : le bruit était très grand. Il m'a donc semblé pertinent d'interroger par mots de la notice mais avec des noms d'inventeurs (Ex : Babbage) que j'avais repérés lors de mes investigations précédentes. J'ai pu ainsi récupérer quelques notices intéressantes. Les descripteurs qui les indexaient étaient : "History", "Computer" et "Computers".

[1] à part la date de publication.

5.2 Interrogation de Pascal et MathSci

	Nombre de références	Langues d'interrogation	Mise à jour	Domaines couverts
Pascal	8 000 000 + 450 000 par an	Français Anglais Espagnol	mensuelle	Sciences et techniques - Biologie - Biotechnique - Agro-alimentaire - Génie biologique et médical - Médecine - Santé publique - Psychologie - Psychiatrie - Toxicologie - Pharmacie - Zoologie - Polymères - Chimie - Matériaux - Physique - Mathématiques - Sciences de la terre - Astronomie - Géographie - Energie - Informatique - Electronique - Télécommunication - Sciences de l'information
MathSci	1 200 000 + 40 000 par an	Anglais	mensuelle	Mathématiques pures - Travaux contenant des mathématiques nouvelles et intéressantes dans des disciplines voisines : Mathématiques appliquées - statistiques - informatique - Physique - Sciences de l'ingénieur - Econométrie - Recherche opérationnelles - Géophysique - Astronomie - Biologie - Sciences du comportement

Ces deux bases ont été interrogées ensemble. Les questions furent :

S1 history/DE AND computer?/DE

S2 (calculating machine) OR (calculator) OR (adding machine) OR (counting instrument) OR (computing machine)

S3 S1 AND S2

Les descripteurs, trouvés lors des interrogations précédentes à l'aide des noms d'inventeurs ont permis de limiter l'interrogation. Les réponses à la première question étant au nombre de 1790 pour Pascal et 309 pour MathSci, j'ai été obligée de réduire encore le champ d'interrogation avec la seconde question..

	Nombre de références trouvées	Nombre de références pertinentes	Bruit
Pascal	3	2	33,3 %
MathSci	10	5	50 %

Les pourcentages de bruit ne sont pas très significatifs vu le peu de références trouvées. Je suppose que le silence doit être important.

5.3 Interrogation de Historical Abstracts

Cette base de données permet d'introduire une date lors de son interrogation.

	Nombre de références	Langues d'interrogation	Mise à jour	Domaines couverts
HISTORICAL ABSTRACTS	245 000 + 25 000 par an	Anglais	Bimestrielle	Histoire - Monde Histoire du monde depuis 1450, à l'exclusion des Etats-Unis et du Canada : études par aires culturelles - histoire culturelle - histoire diplomatique - histoire économique - historiographie et méthodologie - histoire des sciences - technologie - médecine - histoire des idées - relations internationales - histoire militaire - philosophie de l'histoire - histoire politique - histoire sociale - sciences sociales comprenant des perspectives historiques - enseignement de l'histoire

La question posée fut :
S1 HP=1800H AND (computer/DE OR computers/DE)
Le descripteur "History" n'a pas besoin d'être introduit puisqu'il s'agit d'une base historique. Cette question a donné 66 références. Jugeant ce nombre acceptable, je n'ai pas réduit la question comme précédemment lors de l'interrogation des bases Pascal et MathSci.

	Nombre de références trouvées	Nombre de références pertinentes	Bruit
Historical Abstracts	66	32	51.5 %

Etonnamment, 8 références pertinentes étaient en double. Cette interrogation m'a donc permis de récupérer 24 notices.

5.4 Interrogation de Francis

Cette base de données se trouve sous le serveur Questel. Je l'ai interrogée à l'URFIST avec l'aide de Monsieur Lardy, lors d'une journée de formation au serveur Questel.

	Nombre de références	Langues d'interrogation	Mise à jour	Domaines couverts
FRANCIS	1 300 000 + 80 000 par an	Français Anglais Espagnol Allemand	Trimestrielle	Sciences humaines et sociales - Art - Histoire - Linguistique - Littérature - Philosophie - Religion - Education et formation - Pédagogie - Sociologie - Administration - Droit - Ethnologie - Santé publique - Economie - Energie - Gestion des entreprises - Géographie - Amérique latine

La question posée fut :

1 Hist+/DO [1]

2 1 et (ordinateur/DE OU (machine? 1AV calcul+/T))

Le nombre de notices fournies par la question 2 était 146. Jugeant ce nombre trop élevé, nous avons limité sur les langues, ne gardant que les documents écrits en anglais ou en français.

3 2 et (fre/LA OU eng/LA)

Il restait 103 références. Nous en avons récupéré 60. Sur ces 60 notices, 30 étaient pertinentes. Il y avait donc un bruit de 50 %. Parmi ces 30 références, il y avait 3 doublons. L'interrogation de Francis m'a donc fourni 27 références. Nous avons estimé, avec Madame Decaillot, que nous avions assez de références et qu'il était inutile de récupérer les 40 références restantes.

[1] pour se placer dans le domaine historique

6 Localisation des documents

Il est intéressant pour ma directrice de recherche de savoir dans quelles bibliothèques parisiennes elle pourra trouver les différents documents correspondants à ma bibliographie. J'ai donc localisé les revues grâce au CD-ROM Myriade et certains livres grâce au Pancatalogue. Les documents que j'ai consultés pour rédiger ma synthèse sont :

Livres :

- **Ainsi naquit l'informatique : histoire des hommes et des techniques** de MOREAU, R.
- **Histoire de l'informatique** de BIRRIEN, J.
- **Histoire universelle des chiffres** de IFRAH, G.

Articles :

- **From Napier to Lucas** de WILLIAMS, M.
- **Chronology of computing devices** de HUSKEY, H. et HUSKEY, V.

Conclusion

Il est difficile d'interroger pour la première fois une base de données. Afin de compenser son inexpérience, il faut avoir bien défini le sujet sur lequel on travaille et donc avoir fait des investigations sur papier ou CD-ROM au préalable. La grande aventure de l'interrogation en ligne en sera facilitée.

II SYNTHESE

Introduction

Au XIXème siècle se développèrent la finance, l'industrie et les activités bancaires et comptables. Parallèlement, de grands progrès étaient réalisés dans le domaine des sciences exactes. Le contexte était donc favorable à l'éclosion des machines à calculer.
Tout d'abord, nous décrirons l'évolution des instruments arithmétiques, qui sans mécaniser le calcul, permettaient de le simplifier. Puis, nous tracerons l'histoire des machines à calculer arithmétiques. Enfin, nous évoquerons les machines basées sur les cartes perforées.

1 Les instruments arithmétiques

1.1 Historique rapide

Les instruments arithmétiques furent inventés pour faciliter le calcul. Ils opéraient directement sur les chiffres et donnaient le résultat après un certain nombre de manipulations assez simples. L'écossais John Napier ou Neper (1550-1617), inventeur des logarithmes mit en place une méthode de multiplication appelée les "bâtons de Napier". Cette méthode consistait à dessiner une matrice, en plaçant en haut et à droite les chiffres à multiplier. Dans les cases centrales étaient inscrits les résultats de la multiplication simple correspondant à chaque case. Le résultat final était obtenu par addition des diagonales en commençant par le bas droit de la matrice. S'il y avait retenue, elle était reportée dans la diagonale suivante.

Exemple : 456*128 = 58368

	4	5	6	
0	0 / 4	0 / 5	0 / 6	1
5	0 / 8	1 / 0	1 / 2	2
8	3 / 2	4 / 0	4 / 8	8
	3 (*)	6	8	

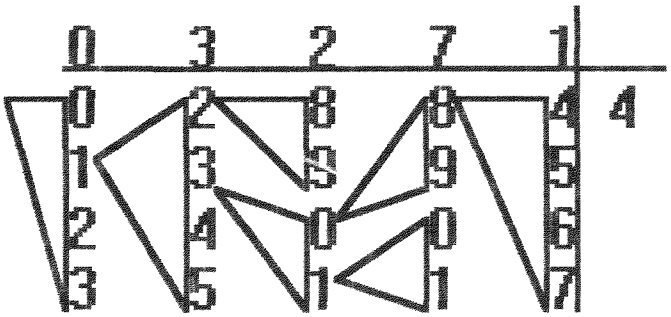
(*) Sur cette diagonale : 6+1+0+4+2 = 13, on laisse le 3 et on garde le 1 pour la diagonale suivante. Le calcul de celle-ci est 0+5+1+8+3+1(retenue) = 18.

Furent inventés aussi:
- l'additionneur de Perrault (1666)
- le multiplicateur de Samuel Morland (1666)
- la machine à additionner de Caze (1720)

1.2 Instruments arithmétiques inventés entre 1850 et 1940

- l'additionneur de Kummer (1847).
- l'instrument de Michel Rous qui consistait en une combinaison d'un boulier chinois et d'une forme cylindrique des bâtons de Napier (1869).
- le multiplicateur-diviseur de Léon Bollée (1893).
- l'arithmographe de Clabor (1906).
- les bâtons de Lucas et Genaille (début du XXème siècle) qui améliorèrent les bâtons de Napier en éliminant les calculs intermédiaires.
- l'additionneur-multiplicateur du général Serbert (1918).

Exemple des bâtons de Lucas et Genaille :



L'opération réalisée ci-dessus est 4*3271 =13084.
Les chiffres et flèches à l'intérieur de la table sont pré définis. Pour lire le résultat, que l'on obtient inversé, il suffit de suivre les flèches à partir du 4 en haut à droite dans la table. On lit 4, puis 8, 0, 3, et 1. Si on retourne ce nombre, cela donne bien 13084.

1.3 Conclusion

Ces instruments n'étaient pas réellement des "machines à calculer" car ils ne mécanisaient pas le calcul : ils nécessitaient sans cesse l'intervention d'un opérateur humain.
Les machines suivantes furent plus fiables, rapides, simples, précises et réduisirent l'intervention humaine.

2 Les machines à calculer arithmétiques

2.1 Historique rapide

a. Schickard et son Horloge à Calcul

En 1623, l'allemand Wilhem Schickard (1592-1635) construisit l'"horloge à calcul". Cette machine mécanisait entièrement l'addition et la soustraction. Elle demandait plusieurs interventions de l'opérateur pour la multiplication et la division. Ces deux dernières opérations étaient effectuées au moyen de cylindres conçus sur le principe des bâtons de Napier. Des repères permettaient de mémoriser des résultats intermédiaires et une clochette avertissait l'utilisateur que la capacité de mémoire était dépassée. Cette machine calculait aussi les logarithmes. Détruite en 1624, elle ne fut reconstruite qu'en 1960.

b. Blaise Pascal et sa Pascaline

Indépendamment de Schickard, le français Blaise Pascal (1623-1662) réalisa la Pascaline en 1643, qui exécutait d'une façon automatique les additions et les soustractions, multipliait par additions successives, et pouvait aussi convertir les unes dans les autres les monnaies complexes de l'époque. Construite à l'aide de roues dentées, difficiles à fabriquer en ce temps, elle fonctionnait assez mal.

c. Leibnitz et Thomas de Colmar

La machine de Cottfried Wilhelm Leibnitz (1646-1716), construite en 1694, effectuait complètement automatiquement les quatre opérations de base de l'arithmétique.
Le français Charles Xavier Thomas de Colmar (1785-1870) construisit en 1820 l'"arithmomètre". Pratique, portable, fonctionnant sur le modèle de Leibnitz, il connut un grand succès puisque plus de 1500 exemplaires furent vendus en 30 ans et qu'il remporta la médaille d'or à l'Exposition Universelle de Paris en 1855.

d. Charles Babbage et sa Machine à Différences

L'anglais Charles Babbage (1792-1871) conçut au cours de sa vie deux machines. Nous ne parlerons ici que de sa première machine, la "Machine à Différences", sa seconde machine, la "Machine Analytique" sera décrite dans la troisième partie de cette synthèse.
La Machine à Différences reposait sur la méthode des différences finies qui, à partir d'une valeur initiale donnée, permet de remplacer le calcul des valeurs d'un polynôme de degré n par une série de n additions successives. Charles Babbage démontra en 1822 que construire une Machine à Différences était réalisable et consacra onze années à sa fabrication. Il échoua, en dépit de l'appui financier du gouvernement britannique, à cause de son perfectionnisme excessif. Conscient des limites structurelles de cette machine, il s'en désintéressa peu à peu pour se consacrer à son projet plus ambitieux : la "Machine Analytique".

2.2 Entre 1850 et 1914

a. La descendance de l'arithmomètre de Thomas

L'arithmomètre de Charles Xavier Thomas de Colmar fut concurrencé par deux autres machines : celle de l'américain Frank S. Baldwin, crée en 1875, et celle du suédois Willgott T. Oldhner.
Une amélioration du système de Thomas fut l' "arithmaurel" conçu en 1841 par le français Maurel et mis au point en 1849 par son compatriote Jayet. Le temps de calcul fut réduit grâce à l'intégration de véritables mécanismes d'horlogerie. Le prix de revient très élevé de cette machine empêcha sa commercialisation.
On peut classer dans cette famille les machines de l'américain Joseph Edmonson en 1881 et de Tchebychef en 1882.

b. Le clavier numérique

Les inventions citées jusqu'ici ne permettaient pas d'aller plus vite qu'un calculateur humain d'habileté moyenne, en raison du mode d'entrée des données qui demandait beaucoup d'attention et de temps à l'opérateur.
La première calculatrice arithmétique à touches fut construite en 1849 par l'américain David D. Parmalee mais elle ne pouvait exécuter que des additions de nombres à un seul chiffre.
Parmi les inventeurs qui améliorèrent cette première machine, on peut citer : Schilt (1851), Hill (1857), Arzberger (1866), Chopin (1870), Robojohn (1872), Caroll (1876), Borland et Hoffman (1878), Stettner (1882), Bouchet (1883), Bagge (1884), D'Azvedo (1880), Spalding (1884), Starck (1884), Pététin (1885), Max Mayer (1886), William S.Burroughs (1888), Shoné Tanaka (1893).
Mais leurs machines restaient encore lentes, de capacité numérique insuffisante, d'utilisation délicate.
Le "Comptomètre" de D.E.Felt, construit de 1884 à 1886 fut la première calculatrice à touches réellement performante. Elle fut commercialisée à grande échelle. Par la suite, Dalton inventa le chiffreur intermédiaire qui permettait des corrections immédiates en retardant l'enregistrement des données initiales ou intermédiaires jusqu'à l'actionnement d'un levier. Runge (1896) puis Hopkins (1903) mirent au point le clavier à dix touches, réduisant ainsi encore le temps de saisie.

c. Dispositif d'impression

Jusqu'alors les calculs devaient être lus directement sur une unité spécialisée de la machine. Il était impossible d'en garder trace sans les recopier à la main. Nous verrons comment Babbage avait envisagé de réaliser l'impression des résultats dans la troisième partie de cette synthèse.
En 1872, l'américain Edmond D. Barbour inventa une additionneuse à touches munie d'un dispositif d'impression. Ce dispositif n'imprimait que le total et les sous-totaux. De plus, le déroulement des opérations demeurait presque entièrement manuel.
L'américain Frank S.Baldwin, en 1875, améliora cette machine, notamment en automatisant l'impression.
Ce fut sur les premières caisses enregistreuses qu'apparurent l'affichage sur papier des différentes étapes du calcul. La première d'entre elles fut fabriquée en 1874 par le français Henri Pottin. Elle permettait d'imprimer sur du papier les nombres au fur et à mesure du déroulement du calcul.
Des progrès décisifs dans ce domaine furent apportés par les américains D.E.Felt et William S.Burroughs. De 1889 à 1893, D.E.Felt, inventeur du comptomètre dont nous avons parlé précédemment, résolut complètement les problèmes d'impression des machines à calculer. Quant à William S.Burroughs, il réalisa en 1886 son "Adding and Listing Machine" qui fut la première calculatrice mécanique à touches munie d'un mécanisme d'impression. A la fois pratique, fiable, robuste, donc parfaitement adaptée aux besoins des activités bancaires et commerciales de l'époque, elle connut un grand succès commercial jusqu'au début de la première guerre mondiale.

d. Multiplication Directe

Un inconvénient majeur des calculatrices était que les multiplications étaient effectuées par des processus non automatiques d'additions successives.
L'espagnol Ramon Verea construisit en 1879 une machine multipliant par voie directe. Cependant, il ne s'agissait que d'une machine expérimentale, capable de n'exécuter que des multiplications à deux chiffres.
Plus connue, de capacité plus étendue, la machine construite par le français Léon Bollée fut la première machine à effectuer des multiplications directes pouvant travailler sur des nombres de plus de deux chiffres. Elle permit de réaliser une économie de 80% en moyenne sur le temps de calcul d'une multiplication des calculatrices ordinaires de son époque. Elle valut une médaille d'or à Bollée en 1889 à l'Exposition Universelle de Paris.
L'allemand Otto Steiger construisit en 1892 une machine plus compacte fondée sur le même principe. Elle connut un grand succès et fut commercialisée dès 1899 sous le nom de "Millionnaire".

e. Division Directe

La division demeurait très lente et compliquée, nécessitant de nombreuses interventions humaines. La première calculatrice à division directe, la "Madas", fut construite en 1908 par les suisses Rechnitzer et Edwin Jahnz.

f. Automatisation complète des quatre opérations

De grandes difficultés furent rencontrées pour adapter les mécanismes de la division directe avec ceux de la multiplication directe.
Elles ne furent résolues qu'en 1920 par l'américain Jay Randolph Monroe puis par l'allemand Christel Hammann.

g. Calcul Electromécanique

L'introduction de l'électricité et des circuits à relais permirent le développement du calcul électromécanique.
En 1894, l'allemand Edward Selling remplaça les tiges de la plaque multiplicative de la machine de Léon Bollée par des circuits à relais électromagnétiques pour commander électriquement les totalisateurs grâce à des électro-aimants. Par la suite, l'ingénieur espagnol Leonardo Torres Y Quevedo réalisa en 1913 un arithmomètre électromécanique fondé sur la technique des relais électromagnétiques.

h. La descendance de la Machine à Différences de Babbage

Les suédois Georg et Edvard Scheutz reprirent l'idée de Babbage et construisirent en 1853 une Machine à Différences fiable et robuste, munie d'un dispositif d'impression. Les autres inventeurs de machines à différences furent : Martin Wiberg (1859), George Grant (1871), Léon Bollée (1895), Percy Ludgate (1905), Christel Hamann (1910).

3 Les machines à cartes perforées

3.1 Introduction

Les cartes perforées apparurent au début du XIXème siècle. Unissant le système de programmation au moyen de cartes perforées de Falcon (1728), au principe mécanique de fonctionnement automatique mis au point par Vaucanson (1738), Joseph-Marie Jacquard construisit en 1804 le premier métier à tisser entièrement automatique, commandé par un système de cartes perforées.

3.2 Babbage et sa Machine Analytique

Abandonnant la construction de la Machine à Différences, Charles Babbage définit l'architecture d'un calculateur universel, c'est à dire une machine analogique capable d'exécuter n'importe quel traitement algorithmique.
Pour cela, Babbage dut introduire les notions suivantes :

- unité d'entrée
- unité arithmétique et logique : Babbage l'appelait le moulin. Il emprunta les mécanismes du métier à tisser à Jacquart : les cartes combinatoires "gouvernaient l'appareil à répétition du moulin". Des cartes pour index leur étaient associées. Ainsi pouvaient être "commandés à certains intervalles...le nombre et la nature des répétitions qui devaient être exécutées", donc le nombre de fois qu'il fallait exécuter une même partie d'un programme (itération).
- store : cette notion regroupait ce qu'on appelle aujourd'hui la mémoire et les unités de sortie. L'affichage des résultats qui étaient prélevés dans la mémoire, se faisait en perforant des cartes à l'aide des unités de sortie, mais Babbage avait envisagé de réaliser des dispositifs permettant d'imprimer les résultats.
- unité de commande : elle servait à s'assurer que les instructions du programme étaient bien exécutées dans l'ordre prévu. Elle prenait les données en mémoire au moment opportun, les plaçait dans le moulin, transférait du moulin vers la mémoire les résultats partiels ou définitifs. Tout cela à l'aide de cartes perforées.

Babbage fut encouragé notamment par Lady Lovelace (Ada Byron, fille de Lord Byron). On peut la considérer comme la première programmeuse de l'histoire. Elle écrivait des programmes de fonctions mathématiques qui auraient pu être exécutés par la machine de Babbage. Selon qu'il lui avait été facile de programmer le calcul ou non, elle proposait des modifications de la machine.
La machine de Babbage, trop ambitieuse pour la technologie de l'époque, ne put jamais fonctionner.

3.3 La machine d'Hollerith

A l'occasion du recensement américain de 1890, H.Hollerith (1860-1929) construisit une machine statistique capable de compter électriquement les unités grâce à un système de perforations dans des cartes de papier fort. Le passage du courant au travers d'une perforation faisait avancer d'une graduation l'aiguille d'un totalisateur.

Conclusion

Avant la Première Guerre Mondiale, le calculateur universel n'avait donc pas encore été construit. Cependant, de grands progrès avaient déjà été réalisés. Les quatre opérations s'effectuaient de manière automatique et directe, les résultats pouvaient être imprimés mécaniquement, les chiffres étaient entrés par clavier numérique, et surtout l'électricité commençait à être utilisée. Leonardo Torres y Quevedo montra avant cette guerre qu'il était possible de construire la machine de Babbage en utilisant une technologie électromécanique. Il réalisa en France plusieurs parties de cette machine mais manqua d'argent pour mettre achever son projet. Il faudra attendre la fin des années 1930 pour voir apparaître les premiers calculateurs modernes.

III Bibliographie

1 Livres et Rapports

[Exposition. Paris, Musée national des techniques (1990)]. ***De la machine à calculer de Pascal à l'ordinateur : 350 ans d'informatique.*** Paris : Musée national des techniques, Conservatoire national des arts et métiers. 63 p.
ISBN : 2-9008207-07-9

ASPRAY, W. (1990). ***Computing before computers.*** Ames : Iowa State University Press, X+266 p.
ISBN : 0-8138-0047-1
Localisation : 9[1]

AUSEJO, E. (1985). ***Industrial Corporations and Data Process Automation in Abstracts of Papers Presented in Scientific Selections.*** [International Congress of History of Science, n°17, Berkeley; 1985, 31 juill-8 août]. vol 1.
ISBN : 0-918102-13-8

AUGARTEN, S. (1984). ***Bit by Bit : An Illustrated History of Computers.*** New York : Ticknor & Fields, 324 p.
Localisation : 11

BIRRIEN, J. (1990). ***Histoire de l'informatique.*** Paris : Presses Universitaires de France, 126 p. (Que sais-je ?).
ISBN : 2-13-042850-9

BLANCHET, G et DEPOUY, B. (1991). ***Architecture des ordinateurs : des techniques de base aux techniques avancées.*** Paris : Masson, 240 p.
ISBN : 2-225-82377-4
Localisation : 8

[1] Correspond aux numéros des bibliothèques dans l'annexe

BRIEUX, A. et IFRAH, G. (1985). ***Evidence from Calculating Devices in Abstracts of Papers Presented in Scientific Selections.*** [International Congress of History of Science, n°17, Berkeley; 1985, 31 juill-8 août]. vol 1.
ISBN : 0-918102-13-8

BUXTON, H. (1988). ***Memoir of the life and labours of the late Charles Babbage Esq. F.R.S.*** Cambridge : MIT Press; Los Angeles : Tomash Publisher, XXII+401 p.
ISBN : 0-262-02269-9

COLLIER, B. (1990). ***The little engines that could've : the calculating machines of Charles Babbage.*** New York; London : Garland, IX+319 p. (Havard dissertations in the history of science).
ISBN : 0-8240-0043-9

CORTADA, J. (1990). ***A Bibliographic Guide to the History of Computing, Computers, and the Information Processing Industry.*** Westport : Greenwood, 644 p. (Bibliographies and Indexes in Science and Technology, n°6).
Localisation : 5

COUFFIGNAL, L. (1964). ***Les Machines à Penser.*** 2ème éd. Paris : Les éditions de Minuit, 132 p. (Grands documents).
Localisation : 2

DUDLEY SYLLA, E. (1985). ***The Oxford Calculators "Mathematical Physics" in Abstracts of Papers Presented in Scientific Selections.*** [International Congress of History of Science, n°17, Berkeley; 1985, 31 juill-8 août]. vol 1.
ISBN : 0-918102-13-8

EVANS, C. (1981). ***The Making of the Micro : A History of the Computer.*** New York : Van Nostrand Reinhold, 115 p.

GUILLAUME, M. et DHOMBRES, J. [Université de Nantes. Equipe de recherche : Sciences, Techniques et Sociétés. Rapport]. (1982-1983). ***Des influences subies et exercées par Condillac en matière de théorie de la connaissance*** ... . vol. 2. Nantes : Ed. de L'AREFPPI, p 6-21.

HYMAN, A. (1982). ***Charles Babbage : Pionneer of the Computer.*** Princeton : Princeton U. Pr., 287 p.
Localisation : 5

IFRAH, G. (1987). ***La Saga du calcul : de l'abaque primitif à la calculatrice programmable révolutionnaire.*** Puteaux : G.Ifrah, 27 p.
ISBN : 2-906909-00-9

IFRAH, G. (1994). ***Histoire universelle des chiffres : l'intelligence des hommes racontée par les nombres et le calcul.*** Tome 2. Paris : Robert Laffont, 1009 p. (Bouquins).
ISBN : 2-221-07857-3
Localisation : 1

LIGONNIERE, R. (1987). ***Préhistoire et histoire des ordinateurs : des origines du calcul aux premiers calculateurs électroniques.*** Paris : R.Laffont, 356 p. (La Fontaine des sciences).
ISBN : 2-221-05261-7
Localisation : 5

MARTIN, E. (1992). ***The calculating machines (Die Rechenmaschinen) : their history and development.*** Cambridge : MIT Press; Los Angeles : Tomash Publisher, XX+392 p.
ISBN : 0-262-13278-8
Localisation : 5

MERZBACH, U. (1977). ***Georg Scheutz and the first printing calculator.*** Washington : Smithsonian Institution Press, III+74 p. (Smithsonian Studies in History and Technology).

MOREAU, R. (1987). ***Ainsi naquit l'informatique : histoire des hommes et des techniques.*** 4ème éd. Paris : Dunod, 223 p. (Histoire et philosophie des sciences).
ISBN : 2-04-016962-8
Localisation : 5, 9

REYBAUD, E. (1930). ***Vous avez besoin d'une Ré Bo.*** Marseille : Reybaud.

RITCHIE, D. (1986). ***The Computer Pionneers : The Making of the Modern Computer.*** New York : Simon & Schuster, 232 p.

STEIN, D. (1985). ***Ada : a Life and Legacy.*** Cambridge : MIT Pr., 313 p.
Localisation :5

STEIN, D. (1985). ***Introducing Ada : Myth and Symbol in Computer History in Abstracts of Papers Presented in Scientific Selections.*** [International Congress of History of Science, n°17, Berkeley; 1985, 31 juill-8 août]. vol 1.
ISBN : 0-918102-13-8

WILLIAMS, W. (1985). ***Looking back tomorrow.*** Wellington : New Zealand Computer Society, 210 p.
ISBN : 0-9797657-1-9

2 Articles

[***Museums and archives pertaining to computer and information science.*** (1989)]. Annals of the History of Computing, USA, vol. 10, n°4, p. 305-329.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

BROMLEY, A. (1987). ***The evolution of Babbage's calculating engines.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 9, n°2, p. 113-136.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

BULLOW, R. et LINDGREN, M. (1991). ***Glory and Failure : the Difference Engines of Johann Muller, Charles Babbage, and Edvard Scheutz.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°2, p. 232.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

BULOW, R. (1990). ***Three Inventors-Scenes from Early German Computing History.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.12, n°2, p. 109-126.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

CERUZZI, P. et ECKERT, W. (1986). ***Punched Card Methods in Scientific Computation.*** Isis, USA, vol. 7, n° 286, p. 154-156.
ISSN : 0021-1753
Localisation : 4,5,7,8,11

COHEN, I. (1988). ***Babbage and Aiken. With Notes on Henry Babbage's Gift to Havard, and to other Institutions, of a Portion of his Father's Difference Engine.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.10, n°3, p. 171-193.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

ENROS, P. et DUBBEY, J. (1980). ***The Mathematical Work of Charles Babbage.*** Historia Mathematica, CAN, vol. 7, n°1, p. 98-100.
ISSN : 0315-0860
Localisation : 4,7

ERSKINE, G. (1976). ***The history of the computer.*** C.E.R.N. Bibliographie, vol. 76, n°24, p. 261-279.
ISSN : 0006-4831
Localisation : 10

FRANKSEN, O. (1986). ***Babbage's Calculating Engines. Being a Collection of Papers Relating to them; Their History, and Construction.*** Annals of Science, GBR, vol. 43, n°1, p.87-90.
ISSN : 0003-3790
Localisation : 5,4

GOLDSTINE, H. (1977). ***A brief history of the computer.*** Proceedings of the American Philosophical Society, USA, vol. 121, n°5, p. 339-345.
ISSN : 0003-049X
Localisation : 4,11

GRATTAN-GUINNESS, I. (1990). ***Charles Babbage : Production by Numbers.*** Annals of Science, GBR, vol. 47, n°1, p. 81-87.
ISSN : 0003-3790
Localisation : 5,4

HUSKEY, H. et HUSKEY, V. (1976). ***Chronology of computing devices.*** I.E.E transactions on computers, vol. 25, n°12, p. 1190-1199.
ISSN : 0018-9340
Localisation : 2,6

KIDWELL, P. (1991). ***Computing Before Computer.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°1, p. 113-115.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

KISTERMANN, F. (1991). ***The Invention and Development of the Hollerith Punched Card : In Commemoration of the 130th Anniversary of the Birth of Herman Hollerith and ...*** . Annals of the History of Computing, vol.13, n°3, p. 245-259. ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

LINDGREN, M. et LINDQVIST, S. (1982). ***Scheutz's First Difference Engine Rediscovered.*** Technology and Culture, USA, vol. 23, n°2, p. 207-213.
ISSN : 0040-165X
Localisation : 4,5

LINDSAY-BROWNE, M. (1984). ***Modern computer are over 150 years old.*** Industrial Archaeology review, GBR, vol. 18, p. 110-115.
ISSN : 0309-0728
Localisation : 4

MOSCONI, J. (1983). ***Charles Babbage : vers une théorie du calcul mécanique.*** Revue d'Histoire des Sciences, FRA, vol. 36, n°1, p. 69-107.
ISSN : 0151-4105
Localisation : 4,5,8

NORBERG, A. (1990). ***High Technology Calculation in the Early 20th Century : Punched Card Machinery in Business and Government.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°2, p. 232.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

PURBRICK, L. (1993). ***The dream machine : Charles Babbage and his imaginary computers.*** Journal of Design History, GBR, vol. 6, n°1, p. 9-23.
ISSN : 0952-4649
Localisation : 4

RANDELL, B. (1983). ***A mysterious advertisement, the heritage of Charles Babbage in Australasia.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 5, n°1, p. 45-63.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

SCABAS, M. (1991). ***A World Ruled by Number : William Stanley Jevons and the Rise of Mathematical Economics.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°3, p. 313.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

STEIN, D. (1984). ***Lady Lovelace's Notes : Technical Text and Cultural Context.*** Victorian Studies, USA, vol. 28, n°1, p. 33-67.
ISSN : 0042-5222
Localisation : 4

STIGLER, G. (1991). ***Charles Babbage (1791 + 200 = 1991).*** Journal of Economic Literature, USA, vol. 29, n°3, p. 1149-1152.
ISSN : 0022-0515
Localisation : 2,4,8

TROPP, H. et HYMAN, A. (1984). ***Charles Babbage : Pioneer of the Computer.*** Technology and Culture, USA, vol. 25, n°3, p. 651-653.
ISSN : 0040-165X
Localisation : 4,5

TURVEY, P. (1991). ***Sir John Herschel and the abandonment of Charles Babbage's Difference Engine n°1.*** Notes and Records of the Royal Society of London, GBR, vol. 45, n°2, p. 165-176.
ISSN : 0035-9149
Localisation : 7

TWEEDALE, G. (1989). ***The Works of Charles Babbage.*** British Journal for the History of Science, vol. 22, n°75, p. 481-482.
ISSN : 0007-0874
Localisation : 4,5

TWEEDALE, G. (1991). ***Calculating Machines and Computers.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°3, p. 313.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

VAN SINDEREN, A. (1983). ***Babbage's letter to Quetelet, May 1835.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 5, n°3, p. 263-267.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

VAN SINDEREN, A. (1988). ***Babbage and the Scheutz Machine at Dudley Observatory.*** Travaux et Documents. Institut National d'Etudes Demographiques, FRA, vol. 10, n°2, p. 136-139.
ISSN : 0071-8823
Localisation : 3

VAN SINDEREN, A. et WILLIAMS, M. (1991). ***Happy Birthday Mr. Babbage.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°2, p. 125-139.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WEISS, E. (1989). ***Oh, Pioneers !.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 10, n°4, p. 348-361.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WILKES, M. (1981). ***The design of a control unit : reflections on reading Babbage's notebooks.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 3, n°2, p. 116-120.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WILKES, M. (1991). ***Babbage's Expectation For his Engines.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°2, p. 141-145.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WILKES, M. (1991). ***Pray Mr Babbage. A Character Study in Dramatic Form.*** Annals of the History of Computing, USA, vol.13, n°2, p. 147-154.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WILLIAMS, M. (1983). ***From Napier to Lucas : the use of Napier's bones in calculating equipment.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 5, n°3, p. 279-296.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WILLIAMS, M. (1988). ***Babbage and Bodwitch : a transatlantic connection.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 9, n°3-4, p. 283-290.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

WILLIAMS, M. et FRANKSEN, O. (1986). ***Mr. Babbage's Secret : The Tale of a Crypher - and APL.*** Isis, USA, vol. 7, n° 286, p.156.
ISSN : 0021-1753
Localisation : 4,5,7,8,11

ZEMANEK, H. (1989). ***The new department "Informatics and Automatics" at the Deutches Museum in Munich.*** Annals of the History of Computing, USA, vol. 10, n°4, p. 329-335.
ISSN : 0164-1239
Localisation : 5

Annexe : adresses des Bibliothèques

1. Bibliothèque de l'Université Paris VIII-Vincennes.
2, rue de la Liberté
93526 Saint Denis Cedex 02
Tel : 49 40 65 88 et 49 40 65 79

2. Bibliothèque de l'Université Paris IX-Dauphine.
Place du Maréchal de Lattre de Tassigny
75775 Paris Cedex 16
Tel : 44 05 42 98

3. Bibliothèque de l'Université Paris VII. Section Lettres et Sciences Humaines.
2, place Jussieu
Tour 55. 2ème étage
75251 Paris Cedex 05
Tel : 44 27 77 55 et 44 27 77 50

4. Bibliothèque de la Sorbonne.
47, rue des Ecoles
75230 Paris Cedex 05
Tel : 40 46 30 27, PEB 40 46 31 10, FAX 40 46 30 44

5. Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu. Bibliothèque Générale.
4, place Jussieu
Tour 56. 4ème étage. Case 192.
75252 Paris Cedex 05
Tel : 44 27 53 48

6. Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu. Section Informatique-Recherche.
4, place Jussieu
Tour 55-65. 4ème étage.
75252 Paris Cedex 05
Tel : 44 27 41 00

7. Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu. Section Math-Recherche.
4, place Jussieu
Tour 56-46. 4ème étage.
75252 Paris Cedex 05
Tel : 44 27 37 23

8. Bibliothèque Sainte-Geneviève.
10, place du Panthéon
75005 Paris
Tel : 43 29 61 00

9. Bibliothèque Universitaire de Paris XI. Centre Scientifique d'Orsay.
Centre scientifique d'Orsay. Batiment 307.
91405 Orsay
Tel : 69 41 61 67, PEB : 69 41 69 93, FAX 69 41 61 81

10. INIST-CNRS. Bibliothèque.
2, allée du Parc de Brabois
54514 Vandoeuvre Les Nancy
Tel : 83 50 46 00 et 83 50 46 64

11. Observatoire de Paris. Bibliothèque.
61, avenue de l'Observatoire
75014 Paris
Tel : 40 51 21 88

BIBLIOTHEQUE DE L'ENSSIB
9665597