

Actes du 1<sup>er</sup> colloque sur

***L'Histoire de l'Informatique en France,***

Grenoble, 3, 4 et 5 Mai 1988,

Volume - 2

Edité par Philippe Chatelin, Grenoble, Mars 1988

Ce document est disponible sous le numéro **AC 20535** dans l'inventaire de la collection de l'ACONIT, Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, Grenoble.

Ici est présenté une copie de l'article :

Girolamo Ramunni,

***Louis Couffignal (1902-1966),***

***un pionnier de l'informatique en France ?***, Vol.2, pages 393-418

L'auteur, Girolamo Ramunni, est historien au CNRS, professeur des universités, Docteur es-Sciences. Il a écrit de nombreux ouvrages, dont *La Physique du calcul : histoire de l'ordinateur*, Paris, Hachette, 1989.

Le présent fichier PDF fournit un scan de l'article, avec la page de couverture du colloque, et la page de sommaire.

**Le lecteur est invité à regarder en particulier :**

-(page 393) dans le titre de l'article, là où le signe « ? » signifie que l'auteur de cet article en 1988 conteste que Louis Couffignal ait joué un rôle positif dans le développement de l'informatique,

La problématique de l'auteur dans cet article est de comprendre comment et pourquoi se fait-il que Louis Couffignal, un scientifique qui fut renommé en France (voir ce qu'en disait en 1947 Joseph Pérès, membre de l'Institut, dans les *Annales des Télécommunications*, Tome-2, n° 11, page 330, un document disponible à Aconit, fiche AC\_26757), directeur en 1938 d'un Laboratoire de calculs et de mécanique, inspecteur général de l'enseignement technique, qui acquit après la guerre une position importante au CNRS, et fut membre de la direction de l'Institut Blaise Pascal, à qui est attribué l'invention d'une machine fameuse mais jamais réalisée, que ce scientifique ait pu contribuer à enfermer les recherches faites à l'Institut Blaise Pascal dans une impasse stratégique,

-(page 402) la très fameuse machine Couffignal de calcul mécanique qui ne sera jamais construite,

-(page 398) le CNRSA (avec A pour Appliquée), ancêtre du CNRS,

-(page 399) les contraintes de la guerre et de l'occupation en 1942,

-(page 399) l'idée de connecter deux machines à calculer : Sanders-Octoplex et Monroe,

-(pages 398, 400) le Laboratoire de statistiques de l'Institut Poincaré,

-(page 414) le laboratoire de Joliot-Curie au Collège de France,

-(page 401) le Comité de mécanique et de mathématiques appliquées, avec en 1944 des membres comme Joseph Pérès de l'Institut,

-(page 402) le calcul analogique avec Joseph Pérès et L. Malavard,

-(page 402, 409) la création de l'Institut Blaise Pascal au CNRS, et ses objectifs contre une machine universelle, et (page 415) contre « la machine de Turing »,

-(page 407) l'importance que Couffignal accordait à l'organisation scientifique du travail de calcul,

-(page 409, 411) le fait que Couffignal ait voulu minimiser le rôle matériel des « mémoires »,

-(page 407, 411, 412, 418) les « machines américaines » et la conférence de Léon Brillouin en 1947, parue aux *Annales des Télécommunications*, l'expérience de Brillouin en « radio » avec le Général Ferrié, Brillouin et le « flip-flop »,

Pour utiliser ce document, mentionnez l'auteur Girolamo Ramunni, les Actes du 1<sup>er</sup> colloque sur l'Histoire de l'Informatique en France, Volume-2, 1988, ainsi que la Base de Données ACONIT n° 20535.

*Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.*

AC 20535

***Volume 2***

***Colloque  
sur l'Histoire  
de l'Informatique  
en France***

***Grenoble  
3 - 4 - 5 Mai 1988***

***Actes édités par Philippe CHATELIN***

## *Volume 2*

### Contenu par ordre alphabétique\*

- 7 **André Jacques** C'est la faute à l'ordinateur ou le mythe des ordinateurs perçu au travers des dessins humoristiques
- 31 **Arsac Jacques** Des ordinateurs à l'informatique
- 45 **Baron Georges-Louis** La prise en compte de l'informatique par le système scolaire. Genèse du champ "informatique pédagogique" 1970/1980
- 63 **Boitet Christian** L'apport de Bernard Vauquois à la traduction automatique et au traitement automatique des langues naturelles
- 83 **Boucher Henri** L'Informatique dans la Défense
- 103 **Carteron Jacques** Naissance du Calcul Electronique, 1950-1958
- 113 **Dreyfus-Alain B.** La participation d'un physico-chimiste à la conception et à la réalisation de matériels de traitement numérique et analogique des données (1959-1969)
- 123 **Escudié Bernard** L'informatique et l'évolution technique de l'analyse spectrale : la transformation de Fourier
- 135 **Gardin Jean-Claude** Une contribution des "humanités" à l'informatique : de PENELOPE(1955) à ZETHOS (1974) et au-delà
- 161 **Greussay Patrick** LISP en France : 1971-1983
- 185 **Herrström Stig** Un suédois à la SEA
- 191 **Joly Christian et coll.** Analyse Critique d'une réussite technologique française : le "Micropackaging " BULL, de 1968 à 1988
- 207 **Jutier J.** Evolution des méthodes et des matériels utilisés dans l'exploitation du réseau ferroviaire français : des origines à l'informatisation
- 223 **Kuntzmann Jean** Naissance de l'Informatique à Grenoble, 1945-1968
- 227 **Lemaire Bernard** De la naissance à l'essor de la Recherche Opérationnelle; la contribution du Professeur Faure
- 241 **Malavard L.** Le Calcul Analogique au Centre National de la Recherche Scientifique
- 261 **Mazataud Pierre** La décentralisation de l'industrie informatique en France : l'espace industriel de trois constructeurs entre 1955 et 1975
- 281 **Mazataud Pierre** Tempéraments régionaux en France et informatisation des exploitations agricoles
- 291 **Mercouroff Wladimir** Le rôle de la Mission à l'Informatique du Ministère de l'Education Nationale, de 1970 à 1975
- 301 **Noyelle Yves** La Saga du LSE (et de ses cousins LSD/LSG/LST)
- 311 **Pair Claude** A tout CRIN : histoire d'un laboratoire
- 325 **Poulain Pierre** D'un enseignement de la mécanographie à celui de l'informatique de gestion dans certains lycées de l'enseignement secondaire (Période 1950-1975)
- 369 **Poulain Pierre** Genèse des départements d'informatique dans les I.U.T. (Période 1964-72)
- 393 **Ramunni Girolamo** Louis Couffignal (1902-1966) : un pionnier de l'informatique en France ?
- 419 **Simon Jean-Claude** L'enseignement de l'Intelligence Artificielle et de la Reconnaissance des Formes à l'Institut de Programmation
- 425 **Starynkevitch Dimitri** Un langage de la SEA. La programmation sur CAB 500. PAF : Programmation Automatique des Formules

\* L'index général par ordre alphabétique est situé au début du Volume 1; les nombres indiqués réfèrent aux numéros de page du début de chaque article de ce Volume 2.

COLLOQUE SUR L'HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE EN FRANCE

Grenoble 3 - 4 - 5 Mai 1988

LOUIS COUFFIGNAL (1902-1966): UN PIONNIER DE L'INFORMATIQUE EN FRANCE?

Girolamo RAMUNNI, C.N.R.S.<sup>1</sup>

Les performances de l'ENIAC, ce "boulter élevé au niveau des techniques d'aujourd'hui"<sup>2</sup> avaient suscité l'admiration de certains mathématiciens français car la nouvelle machine "rendait les calculs 400.000 fois plus rapides" que s'ils avaient été effectué à la main. Était-il possible de construire en France, à la fin de la deuxième guerre mondiale, une machine analogue? Le projet de machine de Couffignal allait-il dans cette direction?

Le nom de Couffignal est souvent cité à propos de la diffusion des idées concernant la cybernétique, de l'enseignement du calcul et, surtout, au sujet d'un projet de machine à calculer jamais réalisée. C'est ce dernier problème que nous nous proposons de traiter ici. Mais, pour mieux évaluer l'ambition du projet de Couffignal, nous rappellerons au préalable quelques-unes des idées qui avaient cours en France dans la période de l'entre-deux-guerres sur les machines à calculer arithmétiques. Enfin nous essayerons de répondre à notre première interrogation.

Torres y Quevedo, d'Ocagne et la notion d'automatique

L'ingénieur espagnol Leonardo Torres y Quevedo fait paraître en 1915 un article sur les principes de l' Automatique , chapitre spécial de la théorie des machines.<sup>3</sup> Torres se réclame de la pensée de

Descartes, mais il renverse les données de l'équation cartésienne. Le Français s'était demandé si l'on pouvait considérer un animal comme une machine incomparablement plus parfaite que toute machine construite par l'homme, car "faite des mains de Dieu". Pour l'Espagnol il s'agit de considérer une machine comme un être vivant, douée d'une vie de relation, car on peut décomposer les parties d'une machine en organes de sens (appareils sensibles aux circonstances) et en organes membres (appareils chargés d'exécuter les opérations). Les machines sont dotées de l'énergie nécessaire et capables de discernement, car elles peuvent à chaque moment:

"en tenant compte des impressions qu'elles reçoivent, ou même de celles qu'elles ont reçues auparavant, commander l'opération voulue"<sup>4</sup>.

Après avoir discuté ce point et montré qu'il n'y a aucune difficulté de principe, Torres soulève une deuxième question: les automates ont été conçus en fonction de la mécanique; en quoi l'électrotechnique est-elle une nouveauté? En ce domaine, la téléphonie reste la référence. La question de l'automatisation des centraux téléphoniques est en plein essor. Pour Torres un automate est une machine qui fonctionne selon les lois de la physique, même les plus complexes. Or, les machines à calculer sont des automates particuliers; elles occupent une place un peu à part en ne se comportant pas selon les lois de la physique, mais en étant l'expression mathématique de ces lois. D'où cette question, qui constitue la troisième et dernière partie de son travail: que peut apporter l'électrotechnique aux machines à calculer? Torres conseille d'abandonner la ligne de recherche inaugurée par Babbage. A son avis l'échec de Babbage ne dérive pas de causes techniques, mais de la nature même des lois de la mécanique. Faute de disposer d'une nouvelle mécanique, poursuivre

dans cette voie équivaut à aller vers une impasse. Mais renoncer à la mécanique a une conséquence importante: la machine à calculer devient une structure complexe composée d'éléments reliés par de nombreux circuits; chaque élément peut tomber en panne, entraînant un arrêt de la machine. Il faut donc renoncer à la notion de sécurité absolue que l'on recherchait, en vain selon Torres, avec les machines mécaniques. Les réalisations en téléphonie montrent que l'on sait maîtriser une technique défaillante; ensuite il faut être clair sur l'objectif à atteindre: on cherche une machine à calculer qui donne des résultats avec une confiance:

"égale, ou supérieure à celle que peut nous offrir un calculateur habile"<sup>5</sup>.

Fallaient-il développer les idées de Torres en fonction des nouveaux acquis de la technique électromécanique? M. d'Ocagne n'est pas de cet avis. Certes, la vision de Torres présente un certain intérêt théorique, mais son prototype de machine électromécanique reste plutôt une "curiosité scientifique" qu'un produit destiné à un avenir industriel<sup>6</sup>. L'intérêt théorique entrevu par d'Ocagne dans les idées de Torres concerne davantage l'analogie entre machine et biologie.

Professeur à l'Ecole Polytechnique et à l'Ecole des Ponts et Chaussées, d'Ocagne est considéré comme le père de la nomographie, du calcul par le dessin, et l'héritier d'une tradition qui remonte à Monge et plus loin à Descartes. Son ouvrage de 1893, Le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques connaît un succès remarquable, sanctionné par plusieurs éditions. A côté de cette activité qui consacre sa renommée, d'Ocagne cultive deux autres intérêts: l'histoire des mathématiciens et l'analyse des machines à calculer. Depuis sa première conférence au Conservatoire des Arts et

Métiers en 1893 sur les machines à calculer, d'Ocagne, considérant que toute classification est "oeuvre de science", s'attache à établir "l'anatomie comparée des machines à calculer"<sup>7</sup>. Son objectif est de trouver une classification s'écartant ou abandonnant complètement la description des instruments selon les principes de la mécanique, de façon à déceler les principes propres au développement des machines, et aider ainsi les "inventeurs" à mettre au point de nouveaux appareils. Il confie à un jeune polytechnicien, Jean Vèzes, le dépouillement méthodique des données concernant les machines à calculer. Mais c'est en Louis Couffignal qu'il trouvera son véritable élève.

#### La carrière scientifique et administrative

La carrière de Couffignal débute comme professeur du secondaire; il est chargé aussi d'enseigner l'analyse et la mécanique à l'Ecole des élèves ingénieurs mécaniciens, annexée à l'Ecole navale de Brest. En France au même moment, on débat dans les revues scientifiques du bien-fondé de doter les lycées de machines d'aide au calcul. Les propos tenus par les deux camps opposés rappellent ceux, plus récents, concernant la place de l'informatique dans l'enseignement secondaire. Intéressé par les problèmes de calcul, Couffignal se décide à faire une thèse sous la direction de d'Ocagne. C'est la première fois en France que la théorie des machines à calculer est proposée, à l'Université de Paris, comme sujet pour l'obtention du grade de docteur ès sciences mathématiques. La thèse est soutenue en mars 1938 et d'Ocagne salue cet événement comme l'ouverture de recherches nouvelles promettant de:

"conduire à des conséquences dont on ne saurait encore mesurer toute la portée"<sup>8</sup>.

Consacré expert en calcul mécanique, Couffignal, après la

disparition de d'Ocagne en septembre 1938, va assumer des responsabilités toujours plus importantes. Il avait posé sa candidature à la chaire de Mathématiques (en vue de leurs Applications) du Conservatoire National des Arts et Métiers, mais il a été classé en seconde ligne, derrière A. Sainte-Lagüe, par l'Académie des Sciences<sup>9</sup>.

Mais le hasard des événements va jouer en faveur de Couffignal. Depuis les accords de Munich il paraît de plus en plus évident que l'on s'achemine vers la guerre. La mobilisation scientifique, technique et industrielle se met en place; les structures du Centre National de la Recherche Scientifique Appliquée commencent à fonctionner en octobre 1938. Laugier demande à plusieurs personnalités de rédiger un rapport sur l'état de la recherche et sur les moyens disponibles en divers domaines; Couffignal est chargé d'un rapport sur l'application des mathématiques à la recherche scientifique et technique<sup>10</sup>. C'est le début de la carrière administrative de Couffignal qui espère, en outre, pouvoir réaliser une machine selon ses plans. Secrétaire des commissions spécialisées du CNRSA, Secrétaire général de la commission supérieure des inventions dans le cadre du CNRSA, Couffignal est nommé directeur du Laboratoire de calculs et mécanique situé dans les locaux de l'Institut Poincaré. Il se trouve ainsi côtoyer les laboratoires de Mineur, de L. de Broglie, de Valiron (balistique), de Fréchet, qui ont un certain équipement en machines à calculer et disposent d'un personnel permanent de calculateurs. Pour Couffignal, il s'agit d'organiser son laboratoire.

Les événements du début de la guerre et de l'occupation vont retarder les plans de Couffignal, d'autant plus que la survie du CNRS,

qui succède en 1939 au CNRSA, paraît un moment menacée par le gouvernement de Vichy. Couffignal collabore avec la nouvelle direction; il suggère la dissolution de la Commission des Inventions, qui a failli à ses objectifs. De l'avis de Couffignal l'opposition des services de différents ministères et "le boycott" de la Direction du CNRS sont responsables de ce malfonctionnement<sup>11</sup>. Cette commission sera remplacée par la Commission des Inventions et des Brevets dont Couffignal reste toujours le secrétaire général<sup>12</sup>. Sa participation à de nombreuses commissions du CNRS lui donne l'occasion d'observer ce qui se fait dans la recherche en France. Nommé Inspecteur Général de l'enseignement technique, il trouve le temps de rédiger une Histoire de la machine à calculer, ouvrage couronné, sur un rapport de H. Villat, par le prix Binoux décerné par l'Académie des Sciences et réservé à l'Histoire et à la Philosophie des Sciences.

Son ambition reste toujours la construction de sa machine et, grâce à sa position au sein de la direction du CNRS, il en entrevoit la possibilité. En 1938 le laboratoire de Statistique dirigé par Borel et Fréchet à l'Institut Poincaré obtient un crédit de 100.000 francs pour la construction d'un prototype d'une machine à calculer fonctionnant en binaire. Un marché est même conclu avec la Société l'Outillage R.B.V.; le projet prévoit la construction d'un additionneur de type ELLIS et de deux organes de traduction binaire-décimal et décimal-binaire, l'ensemble devant être électromécanique. En septembre 1939 le Général Desmazères propose à Couffignal de transformer son laboratoire en Centre de calcul pour l'artillerie et de le doter d'une machine puissante. En même temps Couffignal conclut un marché de 80.000 francs, toujours avec la Société l'Outillage B.V.R., pour la construction d'un mécanisme de

connexion électro-mécanique reliant une machine comptable SANDERS-OCTOPLEX à 10 colonnes à une calculatrice MONROE, type A-1-213. Le mécanisme devait permettre la transcription d'un nombre porté de l'une des machines sur le clavier de l'autre machine, et l'enchaînement automatique des opérations commandé par une bande perforée<sup>13</sup>.

Les événements de la guerre retardent l'exécution de ces marchés. De plus, le Conseil d'administration de l' Outillage , en majorité juif, est dissous; c'est seulement au début de 1942 qu'un nouveau conseil d'administration a pu être constitué. Au moment de l'avancée allemande, une partie du matériel de l'entreprise est dispersée; d'autres machines sont saisies par l'occupant. Couffignal contacte les nouveaux responsables de la société qui lui font savoir qu'ils ne peuvent satisfaire les marchés passés en 1938 et 1939 étant donné l'impossibilité de disposer d'une machine Monroe. Au cours de ces entretiens, une idée se dégage: transformer les deux projets en un seul. Pour la même somme, 180.000 francs, la Société pourrait construire une machine type Sanders en lui ajoutant un "mécanisme de calcul" fonctionnant en binaire<sup>14</sup>. Pour ce faire, le laboratoire de statistique, dirigé par Fréchet, doit renoncer à son crédit et Couffignal s'emploie à l'y convaincre. Après quelques atermoiements, Fréchet soumet à Jacob, directeur du CNRS, ses conditions: son laboratoire renonce au crédit de 100.000 francs en faveur de Couffignal si celui-ci s'engage à consacrer les 2/3 du temps de fonctionnement de la machine au laboratoire de statistique qui reste seul maître du type de calcul à effectuer. Fréchet demande une comptabilité rigoureuse du temps d'utilisation de la machine.<sup>15</sup>

Les réticences de Fréchet au projet de Couffignal sont aisément

compréhensibles à la lumière des événements qui vont suivre. Un projet, datant de 1940 et dû à Borel, prévoyait la constitution, au sein de l'Institut Poincaré, d'un laboratoire de calcul de service . A ses débuts, sa direction avait été confiée à Valiron, professeur de calcul différentiel et intégral à la Sorbonne; à partir du printemps 1942, Fréchet en est devenu le directeur et il sera aidé, à partir d'octobre 1944, par G. Darmois. Equipés de machines à calculer grâce à des subventions diverses et regroupant le matériel de calcul disponible à l'Institut Poincaré, ce laboratoire devait fonctionner par auto-financement, les prestations en calcul étant facturées au taux de 60 francs l'heure en 1946. Le laboratoire devait être accessible aux entreprises privées qui auraient pu, aussi, demander des recherches concernant les instructions pour effectuer les calculs. Ce projet fut gardé confidentiel pendant l'occupation; une lettre-circulaire datée du 15 avril 1946 fut diffusée et reproduite dans les journaux scientifiques<sup>16</sup>. Or, à ce moment-là, le laboratoire de calcul et de statistique de l'Institut Poincaré a un concurrent sérieux: l' Institut Blaise Pascal .

En 1942, les difficultés soulevées par Fréchet ont retardé la réalisation du projet de Couffignal. Rappelons aussi enfin que la situation évolue rapidement avec les événements de la guerre. A la Libération de Paris, les préoccupations concernant la reconstruction scientifique et industrielle favorisent la naissance de comités de spécialistes mis en place au sein du CNRS; ils doivent entre autres choses évaluer les besoins en matériel mais aussi les problèmes de formation pour permettre à la France de surmonter le retard accumulé et faire oeuvre de reconstruction selon les derniers acquis de la science et de la technique. Couffignal fait partie du Comité de

mécanique et de mathématiques appliquées avec Perès, Teissier, Darmois, Fessard, Parodi, Piéron, Chalonge, Lecoïnte. Depuis l'automne 1944, sous l'impulsion de Dautry, on discute de la constitution au sein du CNRS d'une fondation appelée "Centre d'études supérieures en mécanique" (CEMA), dont le capital serait constitué par des rentes d'Etat et d'actions de sociétés nationalisées, comme la SNCF par exemple. Ces entreprises auraient pu faire appel à la fondation pour lui confier certaines études ou pour y recruter des jeunes formés en son sein. Dès novembre 1944, on pense que le noyau du CEMA doit être constitué par les bureaux de calculs.<sup>17</sup> Dans cette perspective, Couffignal est chargé par le Comité directeur de mathématiques de faire une enquête sur les tables numériques disponibles en France<sup>18</sup>; il suit les activités de la mission scientifique en Allemagne en ce qui concerne la récupération de matériel de calcul. Il faut noter que la reprise de l'activité scientifique amène de nombreux laboratoires à demander du matériel de calcul, y compris des règles à calcul dont le marché français est dépourvu. Le CNRS est submergé de demandes provenant des divers laboratoires et il ne peut les satisfaire toutes.

Tout cela concourt à renforcer l'idée que la seule issue est de constituer un laboratoire de calcul, dont la première tâche sera de rendre service aux scientifiques et aux ingénieurs. Certaines idées exprimées lors des réunions concernant le CEMA vont dans le même sens. De nombreuses personnalités font remarquer la nécessité impérieuse de former les ingénieurs au calcul à l'aide de machines. Au cours de ces discussions, un rapprochement s'amorce entre Perès et Couffignal. Le premier veut développer le laboratoire de calcul analogique qu'il a fondé en 1932, confié depuis à son collaborateur L.

Malavard; le deuxième entrevoit la possibilité de construire une machine à calculer selon ses plans. Ainsi se constitue le noyau dont le regroupement va donner naissance à l'Institut Blaise Pascal. Couffignal obtient les crédits nécessaires à la construction de sa machine et, le 6 mai 1947, lors de la réunion du Conseil directeur du CNRS, Perès propose que l'accord soit voté pour passer, avec la Société Logabax, un marché pour l'étude et la construction d'une machine universelle à calculer.

La suite des événements est bien connue: la machine ne sera jamais complétée. Entre temps la section de calcul mécanique de l'Institut Blaise Pascal exécutera des calculs pour le compte de scientifiques, suivant les procédures classiques de l'entre-deux-guerres. Avec la parution des premiers ordinateurs commerciaux, la priorité va changer: désormais il faut former à la programmation des calculateurs électroniques. En 1957, une décision du directeur du CNRS met fin aux fonctions que Couffignal occupait à l'Institut Blaise Pascal. Le personnage qui, en 1938, avait été salué comme le chercheur qui devait bouleverser le domaine, sortait ainsi de la scène du calcul automatique.

#### Projet d'une machine jamais réalisée

Il peut paraître surprenant qu'un projet si longuement mûri se soit révélé un échec au moment de sa réalisation. Pour le comprendre, essayons d'analyser la carrière intellectuelle de Couffignal.

En 1933 déjà, alors qu'il enseignait encore à Brest, Couffignal fait paraître un livre sur les machines à calculer<sup>19</sup>. En parcourant la préface écrite par d'Ocagne, on découvre que Couffignal a projeté une machine qui s'inspire directement de celle de Babbage,

mais simplifiée, et que cette machine est en voie de construction. Pour obtenir quelques indications supplémentaires quant aux projets de l'auteur, il nous faut parcourir l'essentiel de ce petit volume. Couffignal veut d'abord montrer qu'il y a une logique dans le développement historique des machines; cette évolution a conduit aux calculatrices, dénomination qu'il réserve aux machines "effectuant les quatre opérations fondamentales". Or il remarque que deux acquis ont permis cette évolution dont l'objectif était de garantir aux machines

"leur parfaite sécurité de marche, l'exactitude absolue des calculs qu'elles effectuent"<sup>20</sup>.

Le premier acquis réduit l'intervention du facteur humain, confiné désormais à l'inscription des données et à la mise en route, opérations impossibles à éliminer; le deuxième concerne la complexité croissante des mécanismes des machines. Éliminer l'intervention du facteur humain signifie pouvoir enchaîner une suite de calcul à partir de machines différentes, en s'inspirant de ce qui se fait déjà dans la mécanographie comptable, même si cela implique une complexité croissante du mécanisme. Ce dernier point prouve que les deux acquis évoluent dans le même sens. Pour Couffignal, il s'agit par conséquent de poursuivre dans le sens de la loi du progrès car l'évolution des machines, à l'instar des organismes vivants, va du simple vers le complexe.

"L'évolution des machines à calculer, additionneuses et calculatrices simples ou complexes, ... se fait donc dans le sens d'une complexité croissante, qui tend à éxiter le plus possible les enchaînements effectués par l'opérateur"<sup>21</sup>.

Couffignal tire la leçon de l'histoire qu'il vient d'écrire. Si l'on considère le sens du progrès, sa machine n'est rien d'autre que la fusion d'une multiplicatrice et d'une machine additionneuse

comptable Wahl, grâce à un mécanisme les reliant. La réalisation de ce prototype fut confiée à la Société l'Outillage R.B.V. Ainsi dès 1933 Couffignal conçut un projet qu'il essaiera de réaliser en 1938 et en 1942 ainsi que nous l'avons vu précédemment.

Plusieurs éléments ont sans doute contribué à ce retard dans l'exécution. L'un d'entre eux relève d'une nécessité que Couffignal a entrevue au cours de son historique sur les machines; il s'est rendu compte que parfois, quand on utilise une machine, on ne suit pas le même enchaînement des opérations que lors d'un calcul manuel. D'où la remarque suivante:

"C'est donc dans une adaptation réciproque des méthodes aux machines et des machines aux méthodes de calcul que l'on doit voir la loi du développement du calcul numérique"<sup>22</sup>.

Il faut donc repenser toutes les procédures de calcul. Travail de Sysiphe si l'on doit, à chaque modification des machines, repenser les méthodes de calcul. Heureusement, la loi du progrès des machines est connue; la tâche suivante consistera à classer les méthodes de calcul conformément à cette loi. On aura ainsi fait oeuvre durable au service du calcul numérique. Certes le terrain à défricher est énorme; il suffit de penser aux calculs des ingénieurs et aux calculs savants. Couffignal reste confiant pourvu que l'on s'en tienne à un principe clair: "Organiser d'abord, Mécaniser ensuite"<sup>23</sup>.

Fidèle à son point de vue, Couffignal développe ses idées à l'occasion de sa thèse, qui se compose de deux parties: l'une pratique, concerne la conception de sa machine à calculer; l'autre, théorique, la définition d'une nouvelle discipline, l'analyse mécanique. La machine est une modification de son projet de 1933 auquel on a apporté un changement de taille: l'adoption de la numération binaire. En 1936, supervisée par Ocagne, et à la suite

d'une note de Valtat, une discussion s'instaure par l'entremise des Comptes Rendus de l'Académie des Sciences sur l'utilité du binaire. Couffignal clôt alors le débat en prenant date; dans une courte note il affirme qu'une machine fonctionnant en binaire est en construction selon ses plans mais que, pour sauvegarder le secret industriel, il ne peut entrer dans les détails. En 1938, il n'est pas plus explicite. Il nous donne comme principales nouveautés apportées à sa machine les caractères suivants:

- a) impression de toutes les données et de tous les résultats intermédiaires;
- b) enchaînement des opérations;
- c) commande entièrement automatique;
- d) possibilité de calculer sur des nombres relatifs en tenant compte automatiquement de leur signe;
- e) inscription et mise en oeuvre des deux facteurs d'un produit, simultanément;
- f) application automatique de la méthode des approximations successives à différents types de calculs.

Nous reviendrons sur ce projet de machine au moment d'analyser l'extension que Couffignal va essayer de réaliser après la seconde guerre mondiale. Pour l'instant disons quelques mots sur la deuxième partie, de loin la plus importante. Dès les premières pages, Couffignal définit son ambition:

"Pour compléter l'évolution (des machines à calculer), il reste donc à créer, pour le machinisme, l'analogue de l'anatomie comparée et de la physiologie..."<sup>24</sup>.

Par cette affirmation Couffignal se place comme l'élève qui veut non seulement poursuivre l'oeuvre du maître, mais le dépasser en hardiesse. Dans la partie générale de son analyse mécanique, il se

pose deux objectifs:

- A. Classer les machines tendant à un même but d'après les fonctions mécaniques qu'elles possèdent.
- B. Déterminer les fonctions mécaniques que doit posséder une machine pour atteindre un but déterminé.

Par cette classification Couffignal veut établir le tableau de l'évolution qui permettra de faire le partage entre idées fécondes et stériles. Une fois cette tâche accomplie, il s'agit de distinguer dans les activités humaines ce qui est "spécifiquement intellectuel de ce qui est mécanique", donc remplaçable par une machine.

La troisième partie de la thèse est consacrée à montrer comment on peut concevoir une machine spécialisée dans les calculs relevant de la mécanique céleste et quelle modification il faut leur apporter pour qu'ils soient adaptés à la machine.

D'Ocagne ne tarit pas d'éloges. Il attribue à Couffignal la redécouverte de la numération binaire, il le qualifie de digne successeur de Babbage et de Torres y Quevedo. Ainsi, après la disparition de d'Ocagne, Couffignal reste l'expert du calcul mécanique.

La constitution de l'Institut Blaise Pascal est pour Couffignal l'occasion qu'il attendait pour réaliser son projet. Grâce à l'appui de L. Brillouin, il put se rendre aux USA, d'où il revient plus sûr que jamais de ses convictions, ainsi exprimées par Perès:

"Grâce aux travaux de<sup>25</sup> Mr Couffignal nous gardons une avance du point de vue théorique".

Deux conférences sur les "grandes machines à calculer" sont organisées à l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications le 12 et 13 juin 1947. L. Brillouin est chargé de faire le point sur les réalisations américaines; Couffignal expose les principes de sa

machine, de "notre conception française". Dès l'introduction, Couffignal veut se démarquer des conceptions américaine et anglaise, en particulier de la machine mise à l'étude à Princeton par von Neumann, Burks et Goldstine et de celle en construction à Cambridge par Wilkes. Il juge que la conception de Princeton qui veut réduire la partie calcul à un simple totalisateur et qui donne une place de choix à la mémoire va à l'encontre de la loi du progrès. L'autre erreur concerne l'idée américaine de

"réaliser les opérations conformément à leur définition mathématique, et par conséquent de n'exiger de la machine que de faire l'opération élémentaire"<sup>26</sup>.

C'est considérer la machine comme un robot, comme remplaçant un homme qui calcule. L'avenir réside dans une toute autre direction:

"c'est à un bureau de calculs que la machine se substituera, c'est-à-dire à une équipe de calculateurs"<sup>27</sup>.

De l'avis de Couffignal, la priorité doit être donnée à l'organisation scientifique du travail de calcul. Ces prémisses faites, Couffignal se sent autorisé à affirmer que:

"... la structure de (notre) la machine s'annonce initialement, essentiellement même, comme assez différente de ce que seront les machines de type américain"<sup>28</sup>.

En effet pour se passer du problème de la mémoire, Couffignal analyse d'abord l'organisation des calculs numériques. Essentiellement on a deux types: en chaîne et en complexes. Dans ce dernier cas, on peut concevoir diverses phases intermédiaires d'un calcul pouvant s'effectuer de manière indépendante. Or, dans le cas de calculs en chaîne, il n'est pas nécessaire de prévoir de mémoire; cela pourrait être le cas si le calcul doit passer par des complexes. Dans ce dernier cas on a besoin de chiffreurs indépendants selon le nombre de complexes indépendants. On peut par conséquent définir une complexité de la machine en fonction des calculs qu'elle peut effectuer. Or, la

décomposition d'un calcul en sous-complexes est arbitraire dans le sens où il n'y a pas une façon unique. Pour résoudre correctement ce genre de problèmes, la seule solution est de faire appel à l'organisation scientifique du travail.

"le problème de l'organisation d'un calcul est, essentiellement, le même que celui...<sup>29</sup> de l'organisation d'une chaîne de montage de fabrication".

Ayant réduit à néant le rôle de la mémoire, Couffignal est donc contraint d'accentuer le problème de l'organisation. La machine est conçue comme composée de plusieurs dispositifs de calculs, travaillant de manière indépendante. Ne pouvant pas stocker les résultats intermédiaires, il faut qu'ils apparaissent à un instant où ils puissent être repris dans un dispositif de calcul et non plus dans un dispositif de mémoire. Le premier problème à résoudre est celui de l'introduction des données. C'est une opération pour laquelle le facteur humain est inéliminable, par conséquent c'est la phase lente. Les Américains ont prévu un organe d'enregistrement des données, mais cela paraît une complication inutile à Couffignal, surtout si l'on considère les calculs scientifiques qui ont peu de données. Considérant que le temps de calcul doit être mesuré à partir du moment où on commence à introduire les données jusqu'au moment où on obtient les résultats, Couffignal juge que cela revient au même si, à la place d'avoir un organe de stockage, on introduit les données au fur et à mesure que le calcul le demande. On peut remarquer que l'utilité de la notion de programme enregistré lui échappe totalement; surtout dans les calculs scientifiques, on peut exécuter un même calcul sur des données différentes ou des calculs différents sur les mêmes données.

Couffignal n'est pas si naïf; il sait que dans les calculs

numériques on peut être confronté à des résultats intermédiaires extrêmement nombreux et qui servent comme données de départ à une phase suivante. Mais à son avis on s'engage dans un travail sans fin si l'on considère que la mémoire peut être utile. Selon Couffignal, une fois la solution de la mémoire résolue pour un type de problèmes, d'autres problèmes surgiront pour lesquels la mémoire se révélera insuffisante; il faudra alors tout recommencer. Fidèle à sa philosophie, il faut remplacer la mémoire par l'organisation. Ainsi il suggère que les résultats intermédiaires soient enregistrés, par exemple sur une bande, et qu'on les soumette de nouveau à la machine. Pour que ce système soit efficace, une précaution s'impose; il faut prendre soin:

"de les enregistrer dans l'ordre de leur réemploi ultérieur, et non dans l'ordre où on les obtient, et surtout point dans l'ordre où on les obtient lorsqu'on fait les calculs suivant les formules mathématiques de résolution théorique du problème"<sup>30</sup>.

On pourrait penser que la minimisation du rôle de la mémoire relève d'un compromis car il juge l'état de la technique insuffisant à résoudre un tel problème. A ce point de vue la conviction de Couffignal est ferme: la technique évoluera et permettra de construire des éléments calculateurs plus performants et des organes permettant de conjuguer de façon diverse ces éléments; mais cela ne voudra pas dire donner une place de choix à la mémoire. Le vrai problème sera toujours de trouver des procédures de calcul, de les décomposer et de les organiser. Le calcul mécanique, c'est le nouveau corps de doctrine à construire.

L'Institut Blaise Pascal a été conçu dans cet objectif: faire des recherches concernant le matériel de calcul et les méthodes de calcul. Il ne faut pas tomber dans l'erreur américaine; il ne s'agit pas de concevoir une machine unique dont la structure procéderait toute

entière d'une même idée et présenterait en quelque sorte une "individualité propre". La machine doit être considérée comme un assemblage de parties spécialisées, d'éléments calculateurs indépendants, interconnectés. L'élément de commande sera le vrai cerveau électronique, semblable à un central téléphonique. Somme toute Couffignal n'a pas modifié d'un pouce sa conception du progrès arrêtée depuis 1933. L'évolution allant vers la complexité, le schéma américain lui semble aller à contresens de ce qui seul peut assurer le succès: se conformer à la loi du progrès.

Conforté par sa vision des problèmes de calcul, Couffignal s'attèle à la lourde tâche de choisir parmi les nombreuses manières de calculer une fonction mathématique celle mieux traduisible dans une machine mécanique fonctionnant en binaire. En 1951 on en est encore à rechercher la meilleure manière de calculer la racine carrée d'un nombre. Les problèmes économiques auxquels sera confrontée la société Logabax mettent un point final à la construction de la machine de Couffignal. Quelques éléments ont été construits, mais ils fonctionnent plus mal que bien. Désormais les premiers ordinateurs commencent à être commercialisés. N'est-ce pas là la preuve la plus éclatante de la viabilité de la conception américaine? Faut-il poursuivre dans la conception française?

Couffignal n'abandonne jamais son point de vue. En 1956, quand désormais il est clair que l'avenir va vers des ordinateurs puissants, Couffignal décide de lancer une nouvelle collection de manuels consacrés au calcul mécanique. Le premier et seul volume est consacré à la Résolution numérique des systèmes d'équations linéaires. L'objectif de cette collection est de fournir aux ingénieurs et aux techniciens les règles permettant d'effectuer correctement des calculs

avec des machines à calculer "classiques". C'est uniquement en conclusion que l'on trouve une référence à "une machine universelle": la ELLIOT 402. Cette fois-ci Couffignal remarque l'utilité de disposer d'une mémoire mais il tient à faire remarquer que:

"les machines à calculer universelles ne l'emportent véritablement (sur les méthodes classiques) que pour des systèmes d'ordre supérieur à  $10^{31}$ ".

#### La conférence de L. Brillouin

Ayant donné un aperçu de l'ambition de Couffignal, le moment nous paraît venu de nous interroger sur la disponibilité en France du savoir-faire technique qui aurait permis la construction d'un ordinateur à la fin des années 40. Pouvait-on construire une machine sans innover au niveau de la conception et permettant de poser très tôt le problème de la programmation? En d'autres termes, un schéma semblable à celui suivi par Wilkes à Cambridge était-il possible en France au même moment?

Pour répondre à cette question, nous nous tournons vers la conférence de L. Brillouin en 1947. Licencié de physique, de chimie et de mathématique, agrégé de l'Université, docteur ès sciences physiques, professeur de théorie physique à l'Institut Poincaré de 1928-1932, L. Brillouin est nommé en 1932 professeur au Collège de France, où il succède à son père. Esprit curieux, il est l'un des rares scientifiques français, avant la première guerre mondiale, à avoir séjourné dans un laboratoire étranger, le laboratoire de Sommerfeld à Munich. Trois axes de recherches peuvent résumer sa carrière scientifique: la mécanique quantique, en particulier l'application de la nouvelle théorie aux métaux, la solution numérique des équations de la mécanique quantique, les problèmes techniques concernant l'utilisation des tubes à vide dans la radio. C'est pendant

la première guerre mondiale qu'il commence à s'occuper des problèmes concernant la radio, en travaillant avec le Général Ferrié; après la guerre il devient consultant du laboratoire du Centre d'Etudes de Toulon, il sera chargé de conférences à l'Ecole supérieure de T.S.F. de Paris à partir de 1921, où il donne des cours sur les mesures en haute fréquence et sur la télémechanique. Dans l'entre-deux-guerres il voyage beaucoup et il enseigne dans diverses universités américaines. Au moment de la mobilisation en 1938 il est chargé par le gouvernement français de réorganiser les services de la radio nationale. En 1940, face à l'avance allemande, il ordonne la destruction des émetteurs radio. Ce fait lui sera reproché par Vichy et par l'occupant. Il décide alors de quitter la France; accueilli dans des universités américaines il travaille dans le cadre de la recherche de guerre sur le radar. A la fin des hostilités, il rentre en France, prêt à collaborer à l'oeuvre de reconstruction scientifique et industrielle, mais, confronté à des difficultés, il décide de quitter définitivement la France pour les USA. Là, outre ses cours universitaires, il sera chargé par IBM de la formation des ingénieurs à la technique des semi-conducteurs. Il s'occupera entre autres choses de la théorie de l'information et introduira la notion de negentropie .

Sa conférence de 1947 a pour but de faire le point sur les machines à calculer électroniques américaines. Au cours de son exposé des travaux américains en cours fin 1946 début 1947, que l'on peut juger exhaustif, Brillouin ne manque pas de souligner la possibilité, en France, d'employer une technique analogue. Ainsi, au moment de la discussion de l'élément fondamental qui permettait d'exécuter des calculs en numération binaire, le "flip-flop", Brillouin fait remarquer qu'il s'agit d'une simple modification de ce qu'on appelle

en France le multivibrateur d' Abraham et Bloch . Au sujet de la mémoire, Brillouin rappelle que l'on peut trouver facilement en France des tubes à retard de mercure ou l'iconoscope de télévision; les recherches dans ce domaine ont été menées en France avant et pendant la deuxième guerre mondiale. Somme toute, les éléments techniques sont largement disponibles pour assembler un calculateur électronique.

Trois points de la conférence de Brillouin doivent être encore rappelés. Le premier concerne la bibliographie des travaux américains; pour quiconque veut se mettre au courant rapidement, il y a là d'utiles indications. Le deuxième concerne le problème de l'erreur d'arrondi consécutif à la taille finie de tout élément physique, et surtout à l'accumulation dérivant de l'exécution rapide de nombreuses opérations élémentaires. Ayant pratiqué l'analyse numérique, Brillouin est sensible au fait que quand on veut calculer une intégrale numériquement on doit augmenter le nombre d'opérations à effectuer, ce qui pose le problème de l'erreur d'arrondi, inévitable étant donné la "nature physique" de la machine. Il faut donc chercher un compromis entre erreurs d'arrondi:

"qui augmentent avec le nombre des opérations et les erreurs faites sur les intégrales ou les dérivés, qui au<sup>32</sup> contraire diminuent lorsqu'on augmente le nombre des opérations".

L'exactitude est par conséquent une question de contrôle et les dispositifs appropriés sont mis au point. Le troisième point concerne l'avenir. Brillouin remarque que les nouvelles machines tirent profit de l'électronique telle qu'elle s'est développée dans le cadre des télécommunications. Quelles retombées doit-on en attendre? Faisant référence aux travaux sur le radar, Brillouin rappelle que la technique des communications:

"fait souvent usage (sans le savoir) des principes de la numération binaire"<sup>33</sup>.

Les principes de la télécommande sont donc isomorphes aux éléments de base des ordinateurs. Alors s'il s'agit de contrôler un complexe de production industriel, cela se traduit dans la recherche d'une formule d'optimisation, fonction de certains paramètres physiques mesurés à intervalles réguliers; ces données sont alors envoyées à la machine qui calcule s'il y a des corrections à apporter.

"Tout un avenir industriel s'ouvrira certainement à ces nouveaux robots, dès qu'ils seront sortis du stade expérimental"<sup>34</sup>.

En conclusion, Brillouin invite les radioélectriciens à saisir les possibilités qu'offrent les nouvelles machines et surtout à s'informer de ce qui se fait à l'étranger, en évitant de se renfermer dans un débat franco-français. D'ailleurs, les Américains ont demandé que des jeunes soient envoyés Outre-Atlantique pour participer à la construction des nouvelles machines, pour acquérir:

"en travaillant... toute l'expérience et tous les trucs de cette technique nouvelle"<sup>35</sup>.

A notre connaissance, ce conseil n'a pas été suivi.

Une dernière considération s'impose. La mise au point de compteurs électroniques a été effectuée en France à ce même moment par Naslin et Puteman. D'autres instruments de même type sont fabriqués dans le laboratoire de Joliot-Curie au Collège de France. Depuis les années 30, la physique du noyau avait changé de paradigme: on ne se contente pas de mesurer des grandeurs, on compte des événements. Ces données supplémentaires que nous nous bornons à évoquer, prouvent à notre avis qu'un savoir-faire existe en France. Il aurait fallu décider en conséquence et confier la tâche de la construction de l'ordinateur aux experts en électronique. C'est ce que fait l'armée française quand elle décide de construire une machine; elle s'adresse au milieu des radioélectriciens, en confiant à F.H.

Raymond la construction du Calculatur Universel Binaire de l'Armement.

### Conclusion

L'ambition constante de Couffignal fut d'organiser rationnellement les bureaux de calculs tels qu'ils existaient jusqu'à la veille du deuxième conflit mondial. Il pensait que l'une des premières utilisations de sa machine porterait sur l'automatisation des opérations comptables concernant les chèques postaux. Il a toujours vu un centre de calcul comme un laboratoire élaborant les tables, les nomogrammes, les abaqes, en bref tous ces instruments qui permettent d'effectuer rapidement des calculs approchés, du "calcul utile", selon sa définition. Polarisé par cet objectif, il a cru que le réel problème était d'interconnecter des machines classiques; il n'a pas saisi que la vitesse atteinte par les nouvelles machines électroniques changeait radicalement les problèmes du calcul automatique.

Peut-on attribuer cela à une fermeture du milieu français sur lui-même? Il est difficile de répondre à une telle question en général. Certes, dans le cas de Couffignal, on peut affirmer que sa "culture mathématique" était lacunaire. En 1938 il a fait paraître une note aux Comptes Rendus affirmant qu'il a conçu une machine pour prouver mécaniquement les démonstrations de la logique. La problématique soulevée en logique mathématique par le célèbre théorème de Gödel (1931) ne semble même pas l'effleurer; aucune référence n'est faite à "la machine de Turing (1936)". Cette constatation contraste avec l'attitude de Couffignal de toujours "prendre date", d'affirmer toujours qu'il a eu la même idée, sans jamais donner de détail au sujet de ses plans.

La décision prise de confier à Couffignal la construction de la

machine se révélera plus grave par ses conséquences. Au fur et à mesure que l'activité scientifique reprend, la nécessité de disposer de calculateurs électroniques apparaît. Face aux nombreuses demandes, on propose d'attendre la réalisation de Couffignal; quand son échec sera évident, on se tournera alors vers les produits commerciaux, surtout étrangers. On aura ainsi perdu un temps précieux en ce qui concerne la formation autour de l'ordinateur.

Un dernier point nous paraît important. La décision concernant la construction de la machine paraît avoir été prise plutôt sur la renommée construite autour de Couffignal que sur une évaluation attentive de son plan. Faute d'un suivi constant de ce projet de la part des décideurs, la décision d'arrêter à temps une expérience qui se révèle de plus en plus un échec n'a pas été prise. Le problème de l'évaluation est encore actuel. Le rôle d'un décideur est aussi d'évaluer les compétences nécessaires à la mise en exécution d'un projet; des expertises en électroniques étaient virtuellement disponibles en France à l'époque. Ne fallait-il pas alors s'adresser en priorité à ceux qui maîtrisaient ce genre de problèmes? Le dernier point important est le suivant: dans quelle mesure, à la suite de cet échec, une sorte de méfiance entre chercheurs et ingénieurs, entre laboratoires de recherche et industriels, s'est-elle instaurée? Les personnes qui ont vécu ces événements pourront sans doute répondre à cette question.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Groupe d'Etudes et de Recherches sur la Science  
10, rue Monsieur le Prince  
75006 PARIS  
Cette contribution fait partie d'une recherche concernant l'essor du calcul scientifique électronique en France et le rôle joué par le CNRS; elle s'insère dans le projet sur l'histoire du CNRS, coordonné par M. A. Prost.
- 2) Boll M., Reinhart J., La synthèse logique, in Le Lyonnais F., Les grands courants de la pensée mathématique, Paris 1948 et 1986.
- 3) Torres y Quevedo L., Essais sur l'Automatique. Sa définition. Etendue théorique de ses applications, Revue générale des sciences pures et appliquées, 1915, 601-611.
- 4) Ibid., 602.
- 5) Ibid., 611.
- 6) d'Ocagne M., Vue d'ensemble sur les machines à calculer, Bulletin des Sciences Mathématiques, 46, (1922), 102-144.
- 7) d'Ocagne M., op. cit., 120.
- 8) d'Ocagne M., Une discipline nouvelle en mécanique: l'analyse mécanique, Revue Scientifique, 76 (1938), 85-87.
- 9) Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, séance du 31 janvier 1938, 303.
- 10) AN-80/284/30.
- 11) AN-80/284/71.
- 12) AN-80/284/69.
- 13) AN-80/284/69.
- 14) AN-80/284/69.
- 15) AN-80/284/69 - Lettre de Fréchet du 24/08/42.
- 16) voir par exemple la Revue Scientifique, 84, numéro daté janvier-mai 1946, 1.
- 17) AN-80/284/209, réunion du 21/11/1944.
- 18) AN-80/284/209 - réunion du 14/12/1944.
- 19) Couffignal L., Les Machines à calculer. Leurs principes, leur évolution, Paris, 1933.
- 20) Ibid., 63

- 21) Ibid., 67.
- 22) Ibid., 78.
- 23) Ibid., 79.
- 24) d'Ocagne M., Une discipline nouvelle..., op. cit., p. 86.
- 25) Perès J., Les grandes machines mathématiques. Introduction, Annales des Télécommunications , 2 (1947), 330.
- 26) Couffignal L., Les grandes machines mathématiques. Les travaux français, Annales des Télécommunications , 2 (1947), 376-387.
- 27) Ibid. 377.
- 28) Ibid. 377.
- 29) Ibid., 378.
- 30) Ibid., 380.
- 31) Couffignal L., Résolution numérique des systèmes d'équations linéaires , Paris, 1950, 177.
- 32) Brillouin L., Les grandes machines mathématiques. Les machines américaines, Annales des Télécommunications , 2 (1947), 331-346.
- 33) Ibid., 345.
- 34) Ibid., 346.
- 35) Ibid., 346.