

## Une révolution inattendue

*Les premiers pas de l'informatique (1935-1985)*

Paul Ceruzzi

La « révolution informatique » est là. Les ordinateurs semblent partout présents, sur nos lieux de travail, de loisirs, et à tant d'autres endroits. À l'heure actuelle, il y a peut-être aux États-Unis un demi-million de gros ordinateurs en usage, sept ou huit millions de PC, cinq millions de calculatrices programmables et des millions de microprocesseurs spécialisés intégrés dans toutes sortes d'autres appareils.

Les changements sociaux apportés par ces appareils sont profonds, sinon révolutionnaires. Et comme, avant elle, bien d'autres révolutions, la révolution informatique va extrêmement vite. L'ordinateur sous sa forme actuelle n'existait pas en 1950. Avant la Seconde Guerre mondiale, le terme anglais de *computer* désignait soit une personne se servant d'une machine à calculer, soit un appareil mis au point par un professeur de physique pour résoudre un problème et qu'il avait utilisé une ou deux fois avant de le ranger à la cave. Les ordinateurs modernes – capables d'effectuer un large éventail d'opérations, dont la plupart n'ont plus grand-chose à voir avec les mathématiques ou la physique – sont nés après la Seconde Guerre mondiale, grâce aux travaux d'environ une douzaine de chercheurs en Angleterre, en Allemagne et aux États-Unis. La « révolution », quel que soit le sens qu'on lui donne, ne débuta que lorsque leurs recherches furent mieux connues et appréciées.



*Un calculateur de statistiques, Université de Columbia*

Les États-Unis entrèrent dans l'ère de l'informatique dans le courant de l'été 1944, lorsqu'un certain Howard Aiken, assistant de physique à Harvard, leva publiquement le voile sur une gigantesque machine électromécanique baptisée Mark I. À la même époque, à Philadelphie, J. Presper Eckert Jr., un jeune ingénieur électricien, et John Mauchly, un physicien, construisaient l'ENIAC, qui, lorsqu'il fut achevé en 1945, fut le premier appareil au monde à effectuer des calculs numériques grâce à des relais non plus mécaniques, mais électroniques.

En Europe, l'informatique prit également son envol pendant la guerre. En 1943, les Britanniques mirent au point un appareil électronique leur permettant de décoder les messages radio allemands. Ils réalisèrent plusieurs exemplaires de cette machine baptisée « Colossus » et, dès la fin des années quarante, des ordinateurs universels étaient en cours de construction dans un certain nombre d'institutions britanniques. En Allemagne, l'ingénieur Konrad Zuse fabriqua des calculateurs avec du matériel téléphonique de récupération. L'un d'eux, le Z4, survécut aux années de guerre et connut une existence longue et productive à l'Institut technique fédéral de Zurich.

Ces appareils étaient les ancêtres de nos ordinateurs actuels. Ils furent parmi les premiers à être capables d'effectuer n'importe quelle série d'opérations arithmétiques, de conserver la trace de ce qu'ils venaient de faire, et d'adapter leurs actes en conséquence. Mais on ne fait pas une révolution avec des machines qui se contentent de résoudre d'obscurs problèmes de physique ou d'effectuer le travail de quelques personnes. Les pionniers de l'informatique ne nourrissaient guère plus d'ambitions pour leurs machines. Ils n'imaginaient pas que l'ordinateur envahirait un jour les moindres recoins de la vie moderne. Selon eux, son marché se limitait à quelques applications scientifiques, militaires ou de grande envergure commerciale. L'ordinateur était comme un tunnel d'expériences aérodynamiques : un appareillage certes indispensable, mais que son coût et sa taille limitaient à un petit nombre d'installations. Lorsqu'il eut vent, par exemple, du désir d'Eckert et de Mauchly de fabriquer et de mettre sur le marché une version plus élégante de l'ENIAC, Howard Aiken exprima son scepticisme. D'après lui, ils ne pourraient jamais en vendre qu'un tout petit nombre, et il déclara même que quatre ou cinq calculateurs numériques suffiraient à satisfaire l'ensemble des besoins du pays. En Grande-Bretagne, le physicien Douglas Hartree remarquait en 1951 : « Nous avons

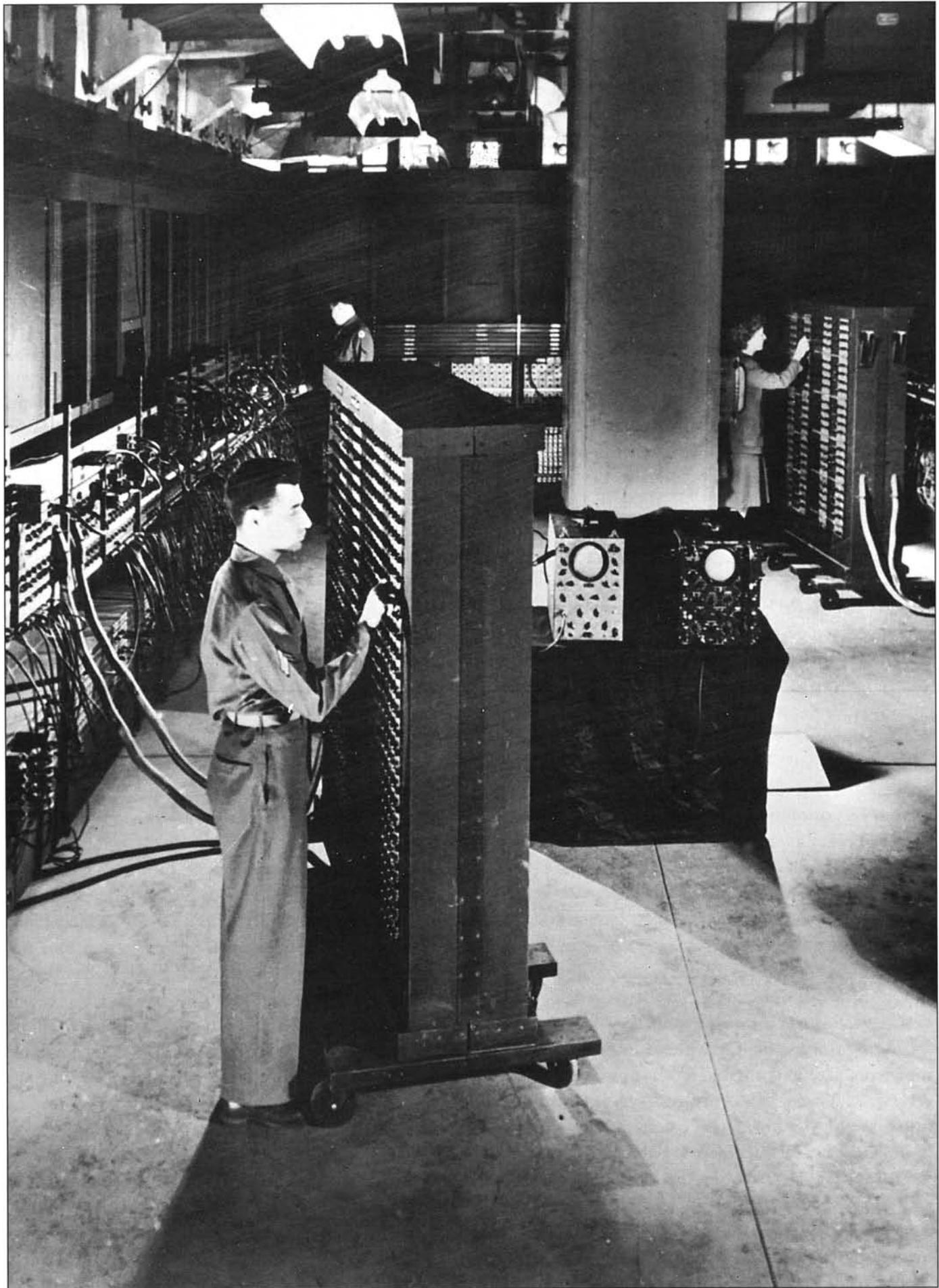
un ordinateur ici à Cambridge, il y en a un autre à Manchester et un autre au [Laboratoire national de physique]. Je suppose qu'il devrait y en avoir un aussi en Écosse, mais c'est à peu près tout. » Les déclarations de ce genre émaillent le folklore de l'informatique. À l'évidence, c'est ainsi que la plupart voyaient alors l'avenir de cette nouvelle technologie. Au moins deux autres pionniers américains de l'informatique, Edmund Berkeley et John V. Atanasoff, se souviennent également d'avoir entendu dire que moins de dix ordinateurs satisferaient amplement les besoins des États-Unis.

Dès 1951, près d'une demi-douzaine de calculateurs électroniques étaient en fonctionnement, et, en mai de cette même année, des sociétés américaines et anglaises commencèrent à en construire pour une clientèle d'hommes d'affaires. Le rêve d'Eckert et Mauchly prit la forme de l'UNIVAC – une machine électronique à vocation commerciale dont le sigle fut un temps un synonyme d'*ordinateur*, comme *scotch* l'est pour le ruban adhésif et *thermos* pour les bouteilles du même nom. Elle devint la vedette de la couverture télévisée de l'élection présidentielle de 1952 sur CBS, en prédisant, à partir de seulement un faible pourcentage de votes exprimés, l'écrasante victoire d'Eisenhower sur Adlai Stevenson. À cette occasion, un grand nombre d'Américains firent soudain la découverte de cette nouvelle et merveilleuse machine. Dans les universités et les administrations américaines, et dans toute l'Europe, on mit sur pied des projets de construction de calculateurs. C'était clair, il existait une demande qui dépassait les prévisions de quelques exemplaires de grosses machines.

Pas tant que cela pourtant. L'UNIVAC était cher et volumineux, et son marché se limitait à des débouchés tel que le Bureau du recensement américain, les installations militaires et quelques grosses industries. (À l'époque, seule l'industrie aérospatiale naissante semblait pourvue d'un insatiable appétit pour ces objets coûteux.) L'UNIVAC et ses semblables n'en posèrent pas moins les jalons préparant l'informatique à son prochain pas de géant, lorsqu'elle passerait du stade des prototypes uniques et spéciaux mis au point dans les universités à celui d'une production en série destinée à répondre aux besoins commerciaux en traitement de données, opérations bancaires, ventes, comptabilité générale et gestion des stocks.

---

*Vue d'ensemble de l'ENIAC. Au premier plan, on prépare une machine pour résoudre un problème d'hydrodynamique.*



Cependant, en dépit de la publicité accordée à l'UNIVAC, le scepticisme l'emportait. Les fabricants n'étaient jamais certains du nombre d'ordinateurs qu'ils pourraient vendre. Comme les inventeurs avant eux, ils avaient le sentiment qu'un petit nombre d'ordinateurs à usage commercial suffirait à saturer le marché. Ainsi, une étude menée au sein d'IBM sur le marché potentiel d'un ordinateur nommé Tape Processing Machine (dont le prototype était prêt depuis 1951) estimait celui-ci à 25 appareils de cette taille seulement. Deux ans plus tard, IBM mit au point un appareil plus petit, toujours à usage commercial, le Model 650, qui devait être loué pour 3 000 dollars par mois – somme bien inférieure au prix en vigueur pour de gros ordinateurs comme l'UNIVAC, mais pourtant bien supérieure au prix des autres appareils de bureau donnés en location par IBM. Lorsqu'il fut lancé en 1953, les promoteurs de ce projet pensaient faire preuve d'optimisme en prévoyant un marché de 250 machines. Ils durent convaincre leurs collègues de chez IBM que ce chiffre n'avait rien exagéré.

Or, contre toute attente, les sociétés commerciales se précipitèrent pour acheter des milliers de 650. Il s'imposa comme le modèle T des ordinateurs, et c'est à ce succès, en grande partie, qu'IBM doit sa position actuelle parmi les leaders mondiaux de l'informatique. L'idée qu'une société privée pouvait produire et vendre une grande quantité d'ordinateurs – d'une puissance modeste, et à des prix inférieurs à ceux des premiers monstres expérimentaux – entra dans les mœurs. Le 650 consacra l'avènement de l'ordinateur aussi bien pour les besoins des affaires que pour ceux de la science, et son succès démontra à quel point on s'était trompé en estimant à si peu le nombre d'ordinateurs dont le monde avait besoin.

Pourquoi les inventeurs et les premiers fabricants commerciaux ont-ils si largement sous-estimé le marché potentiel de l'ordinateur ? C'est une intéressante question, tant pour ceux qui s'intéressent de près à l'industrie informatique que pour les historiens de la technologie moderne. Elle a plus d'une réponse. Selon moi, trois facteurs contribuèrent à composer ce tableau erroné de l'avenir de l'ordinateur : un sentiment, injustifié, que les ordinateurs étaient fragiles et qu'ils n'étaient pas suffisamment fiables ; les préjugés institutionnels de ceux qui, aux premiers jours de sa mise sur le marché, définirent les politiques d'utilisation de l'ordinateur ; enfin, une incapacité quasi générale, y compris chez les pionniers, de comprendre la nature réelle du traitement informatique – la façon

d'obtenir d'un ordinateur qu'il effectue tel ou tel travail, et la quantité de travail qu'il était réellement capable d'effectuer.

Le sentiment que les ordinateurs n'étaient pas des appareils fiables provenait du fait que leurs circuits, équipés de tubes électroniques, tombaient fréquemment en panne. On ne pourrait donc pas en construire ni en vendre de grandes quantités, parce que cette fragilité les rendait impropres à un usage quotidien dans une petite entreprise commerciale ou industrielle (les tubes sautaient si souvent qu'on leur adjoignit une douille pour pouvoir les changer plus facilement, tandis que les autres composants électroniques, plus fiables, étaient soudés). L'ENIAC d'Eckert et Mauchly comportait 18 000 tubes. D'autres calculateurs fonctionnèrent avec moins de tubes, mais dans leur ensemble ils en comptaient beaucoup plus que la plupart des autres appareils électroniques de l'époque. L'ENIAC était un Léviathan occupant toute une pièce, et dont les tubes engendraient une forte chaleur et dévoraient l'électricité de Philadelphie. Les pannes de tubes représentaient réellement un écueil sérieux, car il suffisait qu'un seul d'entre eux saute pendant un calcul pour rendre toute la machine inopérante. Comme ils sautaient généralement quelques minutes après la mise sous tension, l'ENIAC restait allumé en permanence, qu'il effectuât ou non un calcul.

Howard Aiken se méfiait tout particulièrement des calculateurs utilisant des milliers de tubes comme éléments de commutation. Son Mark I, une machine électromécanique fabriquée à l'aide de pièces empruntées au matériel comptable classique alors disponible chez IBM, était plus robuste, quoique bien plus lent, que les calculateurs à tubes électroniques. Aiken avait le sentiment que la plus grande rapidité de calcul obtenue grâce aux tubes ne contrebalançait pas leur propension à griller. Il ne mit en projet des appareils à tubes qu'à contrecœur, en s'efforçant le plus possible de les remplacer par des relais électromécaniques. Cette méfiance n'était pas toujours partagée, quoique les arguments d'Aiken à l'encontre des circuits à tubes fussent pris au sérieux par beaucoup d'autres concepteurs, surtout ceux dont les projets étaient sous la dépendance des politiques du Laboratoire d'Aiken à Harvard.

Ceci nous conduit à la seconde raison de cette sous-estimation de l'avenir des ordinateurs : ce sont les scientifiques qui contrôlèrent les premiers développements de l'ordinateur, et ils maintinrent les projets informatiques d'après-guerre éloignés de toute forme

ou application susceptibles d'intéresser un vaste marché. Howard Aiken, John von Neumann et Douglas Hartree étaient des physiciens ou des mathématiciens, membres d'une élite scientifique. Ils étaient généralement peu concernés par les problèmes terre à terre de salaires et de comptabilité auxquels les sociétés commerciales sont chaque jour confrontées. Ces problèmes n'avaient pas grand-chose à voir avec les mathématiques supérieures, et leur résolution ne contribuait guère au progrès des connaissances scientifiques. Les scientifiques avaient le sentiment de jouer un rôle social important, mais n'estimaient pas que le monde avait besoin de beaucoup plus d'hommes de leur trempe. Leurs besoins personnels étant satisfaits par quelques calculateurs puissants, ils ne pouvaient imaginer qu'on en eût besoin en beaucoup plus grand nombre. Même chez IBM, où les applications commerciales étaient privilégiées, les scientifiques continuaient d'influencer la façon dont cette nouvelle invention était perçue. Au début des années cinquante, le mathématicien John von Neumann servit comme consultant à temps partiel chez IBM, et l'influence qu'il exerça sur ce qu'on attendait de la nouvelle technologie fut loin d'être négligeable.

Le sentiment que le calcul électronique n'avait qu'un avenir modeste et limité provint surtout d'une mauvaise compréhension de sa véritable nature. Les pionniers ne virent pas bien comment les humains pourraient travailler avec des machines fonctionnant à la vitesse de la lumière, et ils furent par suite beaucoup trop modestes dans l'évaluation des capacités de leurs inventions. Certes, ils étaient conscients d'avoir opéré une percée dans le domaine du calcul numérique, mais ils ne comprenaient pas que cette percée avait en fait une portée bien plus grande. Le calcul s'avéra englober bien plus que la simple capacité d'effectuer des séquences arithmétiques compliquées. Toutefois, cette extension ne devint apparente que bien plus tard, lorsque d'autres personnes se familiarisèrent avec les ordinateurs. Quelques exemples des objections opposées dans les premiers temps aux projets de calculateurs permettront d'y voir plus clair.

Lorsque Howard Aiken proposa pour la première fois de construire un calculateur automatique, en 1937, ses collègues de Harvard s'élevèrent contre ce projet. Une telle machine, dirent-ils, serait vouée la plupart du temps à l'inaction, parce qu'elle ferait trop rapidement son travail. Certainement, à leurs yeux, il s'agissait encore d'un de ces appareils d'expériences pour physicien : une fois l'expérience finie et les

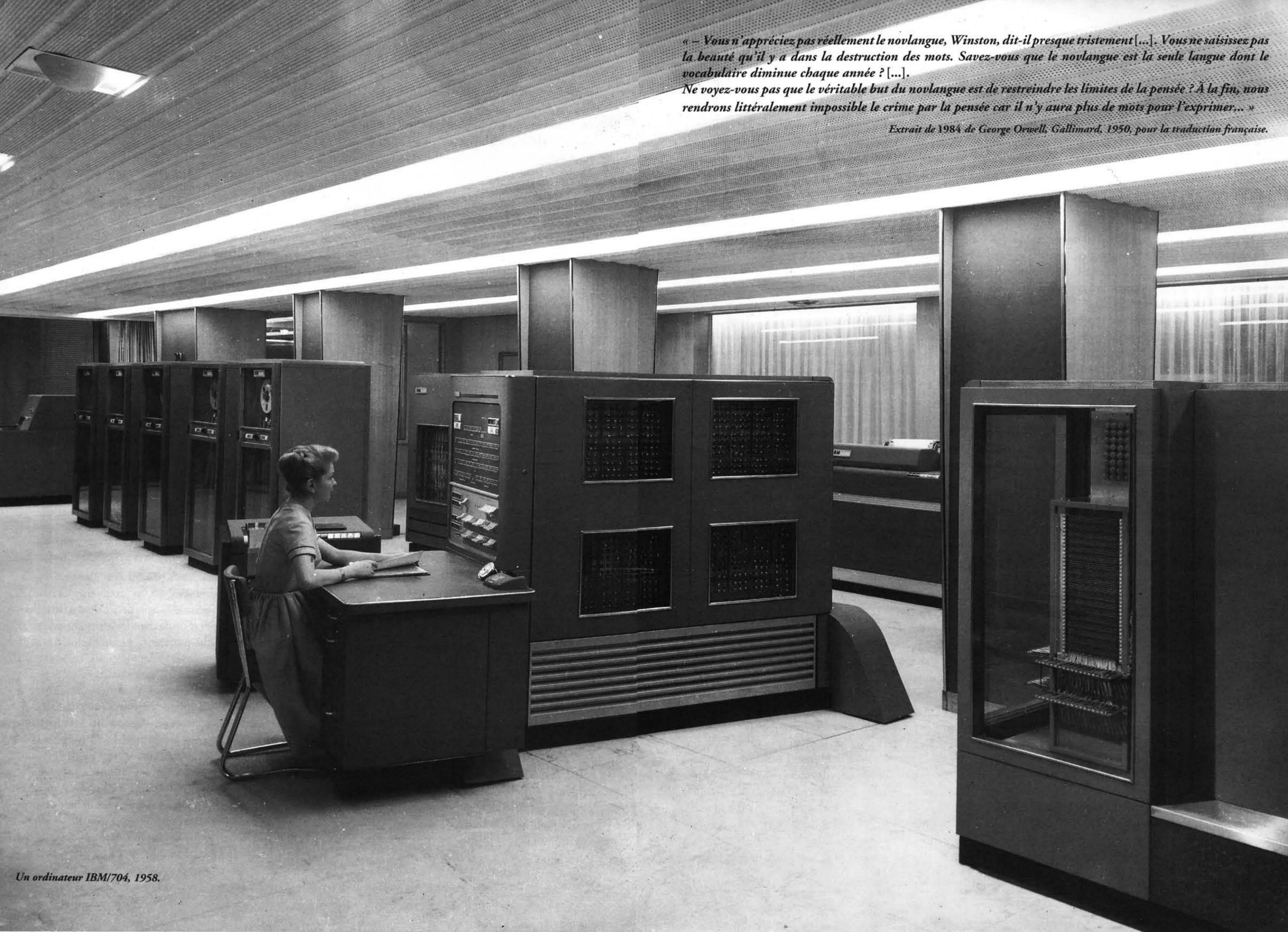
résultats recueillis, l'appareil ne sert plus à rien, et il est soit remis au placard, soit démonté pour que ses pièces servent dans d'autres expériences. Le projet de « machine à calculer automatique » (comme il l'appela) tel qu'il fut conçu par Aiken en 1937 fut perçu de cette façon. Lorsqu'il aurait utilisé sa machine pour effectuer les calculs qu'il voulait lui confier, servirait-elle à autre chose ? Probablement non. Personne n'avait encore construit de calculateur. On ne pouvait pas se lancer dans cette entreprise uniquement pour voir ce que cela donnerait : le chercheur devait d'abord démontrer qu'il avait besoin d'une machine pour résoudre un problème spécifique qu'il n'avait pas d'autre moyen de résoudre. Même s'il parvenait à prouver qu'il ne pouvait le faire que grâce à un calculateur, cela ne justifiait pas nécessairement son coût.

Plus tard, lorsqu'apparurent des calculateurs électroniques beaucoup plus rapides, on reprit le même argument. Les calculateurs mécaniques avaient fait leurs preuves, mais certains pensaient que les appareils électroniques étaient si rapides qu'ils débiteraient leurs résultats trop vite pour que les hommes aient le temps de les assimiler. Une fois de plus, la coûteuse machine en serait réduite à l'inaction, tandis que ses opérateurs humains passeraient de longues heures à éplucher les résultats qu'elle leur aurait fournis en quelques minutes. Et même si on trouvait assez de travail à lui confier, estimaient certains, on ne pourrait pas l'alimenter en données assez rapidement pour tenir ses circuits internes occupés.

Finalement, on se rendit compte qu'il fallait programmer le calculateur avant de lui confier un travail. Ces programmes prirent la forme de longues listes de mystérieux symboles perforés sur des bandes de papier. Dans le cas des premiers calculateurs électroniques, la préparation des bandes fut essentiellement l'affaire des mathématiciens. Lorsqu'un chercheur souhaitait utiliser le calculateur pour résoudre un problème, il recevait un créneau horaire pendant lequel il jouissait de l'usage total de la machine : il rédigeait le programme, l'entraînait dans l'ordinateur, l'exécutait, puis récupérait les résultats. Dès le début des années cinquante, les centres de calcul considéraient comme nécessaire qu'une équipe de mathématiciens et de programmeurs soit présente pour seconder la personne ayant un problème à résoudre, car rares étaient les utilisateurs connaissant les détails de programmation de chaque appareil spécifique. Cela signifiait que tout centre équipé d'un calculateur aurait besoin de mathématiciens formés à cet effet, et ceux-

*« – Vous n'appréciez pas réellement le novlangue, Winston, dit-il presque tristement [...]. Vous ne saisissez pas la beauté qu'il y a dans la destruction des mots. Savez-vous que le novlangue est la seule langue dont le vocabulaire diminue chaque année ? [...]. Ne voyez-vous pas que le véritable but du novlangue est de restreindre les limites de la pensée ? À la fin, nous rendrons littéralement impossible le crime par la pensée car il n'y aura plus de mots pour l'exprimer... »*

*Extrait de 1984 de George Orwell, Gallimard, 1950, pour la traduction française.*



*Un ordinateur IBM/704, 1958.*

ci ne seraient jamais assez nombreux pour qu'on puisse faire fonctionner plus que quelques machines. R.F. Clippinger évoqua ce problème lors d'une réunion de la Société américaine de mathématiques en 1950 : « Pour faire fonctionner à plein rendement la machine à calculer moderne, une équipe de vingt mathématiciens peut-être, possédant divers niveaux de formation, est nécessaire. Or il y a actuellement une telle pénurie de personnes formées pour ce travail que les machines ne peuvent pas tourner à plein temps. » Clippinger estimait à 2 000 personnes les besoins en personnel spécialisé pour 1960, supposant qu'il n'y aurait alors que 100 ordinateurs en usage.

Cette façon de voir les choses, qui s'ajoutait à la conviction largement répandue que les ordinateurs ne trouveraient jamais qu'un marché limité – quoique important – dans le monde industrialisé, provenait essentiellement de ce que la nouvelle invention était envisagée strictement dans le contexte de ce qu'elle remplaçait : les machines à calculer et les personnes qui les faisaient fonctionner. C'est précisément ce contexte qui limitait l'imagination des pionniers.

Chaque fois que naît une nouvelle technologie, rares sont ceux qui perçoivent la place qu'elle occupera plus tard dans la société. Les inventeurs de la radio ne virent pas qu'elle servirait un jour à diffuser des programmes récréatifs, des matchs de football et des journaux d'information ; pour eux, elle n'était que de la télégraphie sans fil. Les premiers constructeurs automobiles n'imaginèrent pas qu'un jour viendrait l'ère de la « automobilité » ; pour eux, il n'y avait qu'une « voiture sans chevaux ». De la même façon, les inventeurs de l'ordinateur perçurent son rôle dans la future société par rapport aux fonctions particulières qu'il remplaçait dans la société de leur temps. Les prédictions qu'ils formulèrent sur les applications potentielles de la nouvelle invention provenaient nécessairement du contexte de « calcul » qui leur était familier. Tout en reconnaissant la nouveauté du calculateur électronique, ils n'imaginaient pas qu'on pourrait s'en servir pour réaliser des opérations radicalement différentes de celles qu'effectuaient les calculateurs humains.

Avant l'arrivée des calculateurs numériques, un mathématicien résolvait un problème de calcul complexe en le reformulant d'abord sous la forme d'une série de problèmes plus simples, faisant généralement appel aux quatre opérations arithmétiques de base – addition, soustraction, multiplication et division. Puis il confiait cette somme de calculs élémentaires à des personnes expertes en calcul, qui effectuaient les

opérations arithmétiques à l'aide de calculatrices mécaniques. Il leur fournissait les données de départ, les manuels de tables logarithmiques et trigonométriques, le papier pour inscrire les résultats intermédiaires et les instructions sur la manière de procéder, ces dernières étant plus ou moins détaillées selon les compétences mathématiques du calculateur. S'il était encore débutant, il fallait lui expliquer, par exemple, que le produit de deux nombres négatifs est un nombre positif ; s'il s'agissait d'un mathématicien plus expérimenté, il suffisait sans doute de lui exposer l'opération dans ses grandes lignes.

Les inventeurs des premiers calculateurs numériques considéraient leurs appareils comme un moyen de remplacer directement cet attirail de personnes, de calculatrices, de tables, de papiers, de crayons et d'instructions diverses. Nous savons cela parce que beaucoup d'experts du calcul automatique de la première heure mesurèrent l'efficacité des nouveaux calculateurs électroniques à l'aune du calcul humain. Les premiers manuels de « calcul automatique » commençaient par exposer le temps nécessaire à un homme pour multiplier deux nombres de dix chiffres. Ils ajoutaient ensuite le temps nécessaire pour réaliser les autres opérations : noter et copier les résultats intermédiaires, consulter les tables et saisir les valeurs d'entrée. Si un calculateur expérimenté était capable de multiplier deux nombres de dix chiffres en 10 ou 12 secondes, il ne pouvait effectuer que 400 opérations de ce genre au cours d'une journée de travail de huit heures, chacune prenant environ 72 secondes<sup>1</sup>. Les premiers calculateurs électroniques parvenaient à multiplier deux nombres décimaux de dix chiffres en à peu près 0,003 seconde ; il leur fallait encore moins de temps pour copier et lire les nombres enregistrés dans la mémoire interne. En outre, ils n'avaient jamais besoin de pause café, de pause repas ou de sommeil ; tant que leurs circuits étaient en état de marche, ils continuaient de faire des calculs.

Ces vitesses de calcul modifièrent immédiatement et radicalement le contexte des arguments selon lesquels les composants électroniques n'étaient pas assez fiables pour une utilisation généralisée. Certes, les tubes n'étaient pas fiables et il suffisait qu'un seul d'entre eux grille en cours de calcul pour corrompre les résultats. Toutefois, ce qui servait à mesurer la fiabilité de l'appareil n'était pas le nombre absolu d'heures où la machine était en service, mais le nombre d'opérations accomplies entre deux pannes. Comparativement au nombre d'opérations élémentaires qu'elle pouvait

effectuer avant la défaillance d'un tube, une machine comme l'ENIAC s'avéra au bout du compte tout à fait fiable. Si on pouvait la tenir en état de marche ne serait-ce qu'une heure sans qu'un tube ne saute, pendant cette seule heure elle pouvait effectuer plus d'opérations arithmétiques que les calculateurs mécaniques prétendument plus fiables ne pouvaient en effectuer en plusieurs semaines. A force de patience, les opérateurs de l'ENIAC parvinrent à la maintenir en état de marche pendant plus de vingt heures par jour, sept jours sur sept. Les calculateurs offrirent donc une fiabilité suffisante bien avant que le transistor n'apporte une alternative moins encombrante et plus robuste au tube à vide.

Ainsi donc, un calculateur électronique comme l'ENIAC pouvait effectuer l'équivalent d'environ 30 millions d'opérations élémentaires par jour, équivalant au travail de 75 000 personnes. À ce rythme, cinq ou six ordinateurs de la taille et de la rapidité de l'ENIAC pouvaient abattre le travail de 400 000 personnes. Mais mesurer la puissance d'un calculateur électronique en la comparant à celle des humains ne rime à rien. C'est comme si l'on mesurait la capacité de production d'une machine à vapeur en chevaux. Pour un moteur de 1 ou 2 chevaux la comparaison se justifie, mais il serait impossible de remplacer une locomotive par un nombre équivalent de chevaux. Il en est de même des ordinateurs. Cependant, les pionniers de l'informatique n'avaient pas d'autre point de comparaison que l'homme. Souvenons-nous qu'entre 1945 et 1950, l'ENIAC était le seul calculateur électronique fonctionnant aux États-Unis. Lorsqu'il fut inauguré publiquement en février 1946, Arthur Burks fit la démonstration de ses capacités devant la presse en lui faisant additionner indéfiniment un chiffre à lui-même – opération dont les journalistes pouvaient aisément se représenter la difficulté pour l'homme. On brancha les câbles là où il fallait, on tourna les interrupteurs comme il fallait et l'opérateur introduisit quelques nombres dans la machine. Burks s'adressa ensuite au public – « Je vais maintenant faire une addition de 5 000 chiffres » – et il pressa un bouton de la machine. Il fallut environ une seconde à l'ENIAC pour réaliser toute l'opération.

Du jour où les premiers calculateurs numériques entrèrent en activité, ils ne connurent guère de repos. Tant qu'ils furent en état de marche, on les mit à contribution, même longtemps après qu'ils avaient dépassé le stade des calculs pour lesquels ils avaient été conçus.

Mais les calculateurs électroniques n'étaient pas seulement fondamentalement différents des personnels spécialisés qu'ils remplaçaient ; ils se distinguaient aussi des appareils à « expériences » : à la différence d'autres instruments de laboratoire, le calculateur, lui, était programmable. Il n'était donc pas uniquement « une machine », mais pouvait se transformer, à tout moment, en une *série* quasi infinie de machines, selon ce que son programme lui ordonnait de faire. Les utilisateurs de l'ENIAC le programmaient en branchant les câbles d'une partie de la machine dans une autre – une idée empruntée aux standards téléphoniques. Ce recâblage le transformait en une nouvelle machine pour chaque nouveau problème à résoudre. D'autres ordinateurs de la première heure reçurent leurs instructions au moyen de bandes perforées : les perforations commandaient des commutateurs dans la machine, réalisant un recâblage comparable à celui qu'effectuaient les tableaux de connexion de l'ENIAC. Lorsqu'on insérait une nouvelle bande perforée dans la machine, on en faisait un appareil entièrement nouveau capable d'effectuer quelque chose de complètement différent de ce pour quoi il était prévu au départ. Howard Aiken conçut son Automatic Sequence Controlled Calculator pour qu'il calculât des tables de fonctions mathématiques, ce qu'il fit sans faillir pendant de nombreuses années. Mais à ses moments perdus, il résolut également des problèmes d'hydrodynamique, de physique nucléaire et même d'économie.

L'ordinateur, en vertu de son caractère programmable, n'est pas une machine comparable à une presse typographique ou à un piano mécanique – appareils qui sont conçus pour remplir une fonction spécifique. Selon la définition classique, une machine est un ensemble de mécanismes disposés de façon à remplir une fonction spécifique : l'une utilise des moteurs, des leviers, des engrenages et du fil électrique pour imprimer des journaux ; l'autre utilise des moteurs, des leviers, des engrenages et du fil électrique pour jouer un air préenregistré. Un ordinateur est lui aussi fabriqué en disposant d'une certaine façon un ensemble de mécanismes, mais sa fonction n'est pas déterminée par cette configuration. Il n'acquiert de fonction que lorsqu'on le programme. Auparavant, il n'est qu'une machine abstraite, une machine « à tout faire » (elle peut même servir à imprimer un journal ou à jouer un air). Pour beaucoup de gens accoutumés aux machines de la révolution industrielle, une conception aussi généraliste semblait absurde, comme le serait un grille-pain qui pourrait également servir à coudre des

boutons de chemise. Or l'ordinateur était exactement ce type de machine : il pouvait faire une foule de choses que ses créateurs n'avaient jamais soupçonnées.

Les pionniers de l'informatique étaient certes conscients de ce caractère universel de l'ordinateur, mais uniquement dans le sens restreint de sa capacité de résoudre un large éventail de problèmes mathématiques. En grande partie à cause du cadre institutionnel où ils se trouvaient, ils ne pressentirent pas que bon nombre des applications futures des ordinateurs seraient fondées sur le traitement de données non numériques. Pourtant, hors des milieux scientifiques et universitaires, surtout après 1950, c'est précisément ce type de travail qui permit dans l'industrie et le commerce la première expansion de l'informatique. Comme les premiers ordinateurs n'avaient pas effectué de tâches commerciales, on continua de penser, à tort, que tout ce que faisait un ordinateur était d'une certaine façon plus « mathématique » ou plus précis que lorsque ce travail était fait d'une autre façon. Howard Aiken ne comprit sans doute jamais qu'un ordinateur pouvait être programmé non seulement pour résoudre divers problèmes mathématiques, mais aussi pour résoudre des problèmes sans grand rapport avec les maths. En 1956, il déclarait : « [...] s'il s'avérait que la logique de base d'une machine conçue pour la résolution numérique des équations différentielles coïncidât avec la logique d'une machine conçue pour établir les factures d'un grand magasin, je la considérerais comme la coïncidence la plus extraordinaire que j'aie jamais vue. » Or, la conception logique des ordinateurs modernes à usage scientifique coïncide tout à fait avec la conception logique des ordinateurs à usage commercial. Ils s'agit bien d'une « coïncidence », certes, mais qui est entièrement voulue par les concepteurs d'ordinateurs actuels.

La question restait de savoir si les calculateurs électroniques travaillaient trop vite pour que les hommes aient le temps de leur fournir du travail. Les ingénieurs et les créateurs d'ordinateurs s'attaquèrent directement au problème du déséquilibre entre les vitesses de l'homme et de la machine, avec des avancées techniques autant à l'entrée qu'à la sortie du traitement. Pour alimenter les ordinateurs en programmes, comme en données, ils mirent au point des bandes et des disques magnétiques qui vinrent se substituer aux fastidieuses opérations de câblage et à la lenteur du système des bandes perforées. Pour afficher les résultats, les imprimantes ligne par ligne, les traceurs et les terminaux vidéo ultra-rapides remplacèrent les

lentes et encombrantes machines à écrire et perforatrices électriques accompagnant les premières machines.

L'ordinateur n'en continuait pas moins de menacer d'inonder de sa production volumineuse les hommes qui avaient fini par accepter de s'en servir. Mais il n'y avait là encore rien d'irréversible, grâce – une fois encore – au caractère programmable de l'ordinateur. Même si, pour réaliser un calcul, une machine manipule des millions de chiffres, elle n'a nullement besoin de les présenter tous à la sortie. Les utilisateurs n'ont besoin que de quelques chiffres, que le programme informatique peut lui-même sélectionner avant de les présenter. Non seulement le programme peut ordonner à la machine de résoudre un problème, mais il peut aussi lui demander de ne choisir que la partie « importante » de la réponse, en supprimant le reste.

En définitive, le développement de l'ordinateur en dehors des laboratoires de physique et des grandes administrations dépendait de la possibilité d'écrire des programmes capables de résoudre des problèmes de types différents et de faire un usage efficace de la vitesse interne élevée des circuits électroniques. Cela ne se fit pas simplement en formant et en recrutant des armées de programmeurs (même si cela sembla parfois la marche à suivre), mais en mettant à profit la capacité de l'ordinateur de conserver ses programmes en mémoire interne. En transformant la programmation en une activité qui ne nécessitait aucune formation mathématique, les concepteurs d'ordinateurs exploitèrent une aptitude de la machine à pallier elle-même la pénurie de programmeurs formés aux mathématiques.

Bien que les pionniers de l'informatique aient reconnu la nécessité d'une mémorisation interne des programmes, ils ne perçurent pas tout d'abord quel formidable impact elle aurait sur la nature de la programmation. L'idée de conserver le programme et les données dans la même mémoire interne leur vint lorsqu'ils comprirent que la rapidité d'exécution des opérations arithmétiques ne servait que si l'ordinateur recevait tout aussi rapidement ses instructions. Le système de tableaux de connexion de l'ENIAC permettait de fournir rapidement les instructions à la machine, mais sa programmation restait lente et malaisée pour l'homme. Eckert lui choisit en 1944 un successeur (baptisé EDVAC) dont le programme était fourni non plus par des tableaux de connexion, mais par des instructions mémorisées sur un disque ou un tambour magnétique rapides.



*Le Selective Sequence Electronic Calculator d'IBM, mis au point en 1947, comportait à la fois des tubes à vide et des relais. Il multipliait 100 fois plus rapidement que Mark 1. C'était le premier ordinateur IBM à programme enregistré. Il pouvait, par sélection des instructions en mémoire, déterminer la séquence de calcul appropriée au problème posé, d'où son nom.*

Dans le courant de l'été 1944, John von Neumann eut par hasard connaissance du projet de l'ENIAC et, en quelques mois, il assimila les principes de base de cette machine géante – ainsi que ses défauts, auxquels Eckert et Mauchly comptaient remédier avec leur nouvel ordinateur. Neumann mit ensuite au point une théorie générale de l'informatique qui continue d'influencer la création de nouveaux ordinateurs. Dans un compte rendu de 1945 sur les progrès de l'EDVAC, il exposa clairement le concept de programme mémorisé et expliqua comment l'ordinateur pourrait être organisé autour de cette mémoire<sup>2</sup>. Il ne fut pas le seul à le faire, mais c'est surtout à ce rapport et à d'autres qui suivirent que l'on doit bien des notions modernes sur la façon dont il faut concevoir un ordinateur.

Pour Neumann, programmer un calculateur numérique ne sembla jamais un défi intellectuel bien considérable ; une fois qu'un problème était formulé en termes mathématiques, la « programmation » était faite. L'écriture réelle des codes binaires permettant à un ordinateur d'exécuter ce programme était une activité qu'il appelait codage, et, d'après ses écrits, il est clair qu'il voyait entre le codage et la programmation la même relation qu'entre la dactylographie et l'écriture manuscrite. Que ce codage s'avérât particulièrement difficile, au point d'entraîner l'apparition d'une nouvelle profession pour accomplir spécifiquement cette tâche, ne semble pas lui être venu à l'esprit. Ceci était dû, d'une part, aux extraordinaires capacités mentales de Neumann et, d'autre part, au fait que les problèmes qui l'intéressaient (comme les prévisions météorologiques à long terme et certains aspects compliqués de la dynamique des fluides) nécessitaient des programmes relativement courts par rapport au temps que l'ordinateur mettait à digérer les nombres. Neumann et Herman Goldstine mirent au point une méthode (toujours en usage) consistant à représenter les programmes à l'aide d'organigrammes. Néanmoins, ceux-ci ne pouvaient pas être intégrés directement dans la machine. C'était encore aux hommes de s'en charger, et pour ceux qui n'avaient pas les capacités mentales de Neumann, cette tâche resta toujours aussi difficile.

L'étape intermédiaire consistant à convertir un problème en organigramme, quels que fussent ses avantages, ne réussit pas à faciliter la programmation informatique pour les non-spécialistes. Une méthode plus durable fut trouvée en reconsidérant, une fois de plus, le fait que l'ordinateur enregistrait le programme dans sa mémoire interne.

Dans ses compte rendus sur l'EDVAC, John von Neumann avait noté que l'ordinateur pouvait effectuer des opérations arithmétiques portant sur ses instructions (et donc modifier celles-ci) en les traitant comme si elles étaient des données, dans la mesure où les unes comme les autres étaient mémorisées dans le même support matériel. L'ordinateur pouvait donc se donner à lui-même de nouveaux ordres. Neumann y vit le moyen d'obtenir d'un ordinateur doté d'une capacité de mémoire modeste qu'il produise les séries plus longues d'instructions nécessaires pour résoudre des problèmes complexes. Pour lui, c'était un moyen de condenser le code et de gagner de la place.

Cependant, Neumann ne vit pas qu'au terme d'un programme on pouvait obtenir, au lieu d'une information numérique, un autre programme. Cette idée sembla d'abord absurde, mais une fois mise en pratique elle permit aux utilisateurs de rédiger des programmes sans être pour autant des mathématiciens chevronnés. Ces programmes pouvaient prendre une forme ressemblant à l'anglais ou à d'autres langues naturelles. L'ordinateur les traduisait ensuite en de longues séries complexes de 1 et de 0 qui actionnaient les commandes internes. On pouvait même programmer un ordinateur en faisant simplement son choix dans un « menu » de commandes (comme dans un distributeur automatique de billets) ou en se servant de manettes ou de boutons (comme dans un jeu vidéo). On n'avait même pas besoin de savoir lire pour programmer.

Cette innovation – la mise au point de programmes informatiques traduisant des commandes dont l'apprentissage est aisé pour l'homme en commandes compréhensibles pour l'ordinateur – abattit le dernier obstacle à une généralisation de la nouvelle invention. Certes, le large usage qu'on en fait aujourd'hui doit beaucoup à la révolution technique qui a permis de réduire encore davantage la dimension et le coût des circuits. Mais les microprocesseurs d'aujourd'hui, tout comme les cerveaux géants d'autrefois, n'auraient jamais trouvé un marché important si on n'avait pas trouvé le moyen de les programmer. Lorsque des circuits intégrés produits en série et d'un faible prix de revient sont associés à des langages de programmation et à des logiciels d'application (comme celui du traitement de texte) d'une grande facilité d'accès pour le novice, plus rien ne semble s'opposer à une prolifération des ordinateurs. Toute prédiction sur le nombre d'appareils qui seront en usage dans l'avenir devient alors vide de sens.

Que reste-t-il des premières prédictions des pionniers de l'informatique ? Il leur était impossible de prévoir les développements de la programmation qui allaient diffuser la technologie des ordinateurs dans des proportions totalement inimaginables en 1940. Aujourd'hui, les étudiants résolvent avec de simples calculettes les mêmes problèmes mathématiques qui poussèrent autrefois les pionniers à construire les premiers calculateurs. En outre, les ordinateurs universels effectuent aujourd'hui des tâches comme le traitement de texte et le jeu vidéo, que personne n'aurait alors jugées dignes d'un ordinateur. Les défricheurs de l'informatique étaient conscients d'avoir mis au point un nouveau type de machine, un appareil capable de faire plusieurs choses en fonction de sa programmation : c'est ce qui leur fit entrevoir qu'un ordinateur pouvait « tout » faire. Paradoxalement, cette découverte s'avéra plus prophétique qu'ils n'auraient jamais pu l'imaginer. Elle est à l'origine de cette révolution inattendue des ordinateurs que nous vivons aujourd'hui.

#### *Notes*

1. Dans une installation de calcul typique des années trente, les humains travaillaient, avec des calculatrices mécaniques capables d'effectuer les quatre opérations arithmétiques élémentaires, sur des nombres décimaux de 10 chiffres maximum, chaque opération durant quelques secondes. Bien que ces machines aient été équipées de moteurs électriques, l'arithmétique elle-même était toujours effectuée par des pièces mécaniques – engrenages, roues, crémaillères et leviers. Les machines étaient sophistiquées et complexes, et n'étaient pas bon marché ; les plus performantes coûtaient plusieurs centaines de dollars.

2. Le « Premier état d'un rapport sur l'EDVAC » de Neumann circula à l'état de « tapuscrit » pendant de nombreuses années. Il n'était pas destiné à être publié, mais eut cependant une influence sur pratiquement tous les ordinateurs conçus ensuite.