

> musée de France, est inaliénable et imprescriptible. Avant le passage devant une commission collégiale qui rend un avis, il a donc fallu évaluer l'intérêt d'une telle machine pour un musée des sciences et des techniques. Un argument majeur était la tradition historique de constitution des collections du musée qui sont déjà très riches en instruments de calcul, de la première machine à calculer mécanique de Blaise Pascal, la Pascaline (1642), jusqu'au superordinateur Cray des années 1980 en passant par les machines analogiques mécaniques du XIX^e siècle telles que les intégraphes, les planimètres, le prédicteur de marée de Lord Kelvin (*voir l'encadré ci-dessous*)... L'EA1 8800 pouvait donc s'insérer harmonieusement dans une grande lignée d'inventions liées au calcul.

Mais l'intérêt majeur de cette acquisition était de sortir de l'oubli une technologie qui fut

un temps prépondérante dans l'histoire de l'informatique – le calcul analogique électronique – et dont plus personne ou presque ne se souvient, tant la victoire des ordinateurs digitaux semble aujourd'hui incontestable. Il nous a donc semblé important de conserver un exemplaire de ces dinosaures, ces grands calculateurs analogiques vedettes des années 1950 et 1960 que des générations d'ingénieurs ont utilisés et dont l'extinction fut brutale du fait des progrès fulgurants des ordinateurs numériques en matière de rapidité de calcul et de capacité de mémoire. Cette histoire ne devrait pas être seulement celle des vainqueurs, et il est trop rare qu'elle laisse une place aux vaincus. Pourtant, ceux-ci sont tout autant une source d'enseignements.

Au début des années 1950, une photographie des techniques de calcul disponibles révèle d'une part la prééminence des

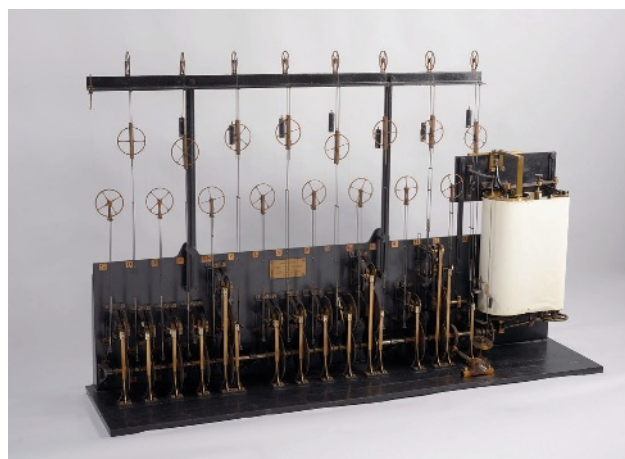
QUELQUES PRÉCURSEURS MÉCANIQUES

Les calculateurs analogiques, machines construites pour résoudre des problèmes en les transposant dans un système plus simple à étudier, ont d'abord été mécaniques. Entre le milieu du XIX^e siècle et le milieu du siècle suivant, de nombreux types de planimètres et intégraphes ont été imaginés pour effectuer des opérations spécifiques telles que le calcul de surfaces (l'intégration) sous des courbes obtenues expérimentalement et dont on ne connaît pas les équations (comme le calcul du travail d'un moteur à partir d'un diagramme montrant la pression en fonction du déplacement du piston). Le calcul s'effectuait en faisant suivre le tracé d'une courbe par le curseur de l'un des bras articulés de l'appareil. Selon les modèles, le mouvement du curseur était combiné au déplacement d'une roulette sur un cylindre, d'une sphère sur un disque, ou encore un cône, lequel, grâce à la géométrie de la machine,

calculait l'aire de la surface sous la courbe.

Conçu dans les années 1880, le prédicteur de marée de Lord Kelvin (*ci-contre*) est une machine imposante, entièrement mécanique. Il est considéré comme le premier calculateur analogique, qui aurait inspiré tous les suivants. L'appareil repose sur la théorie que le mathématicien Joseph Fourier a formulée au début du XIX^e siècle, selon laquelle un signal périodique (l'onde de marée) est une somme de fonctions sinusoïdales (des harmoniques). L'idée était d'obtenir, à partir des caractéristiques de ces fonctions sinusoïdales, les courbes des marées pour les années à venir. Avant de l'utiliser, on déterminait donc, à l'aide d'une autre machine inventée par le physicien britannique William Thomson (mieux connu aujourd'hui sous le nom de Lord Kelvin) – un analyseur de marées –, les amplitudes de chaque fonction sinusoïdale à partir d'enregistrements des courbes annuelles des marées d'un port donné. Puis on les « injectait » dans le prédicteur de marée.

L'appareil est constitué de différentes poulies reliées par un fil et fixées à un engrenage (*en bas*). Chaque poulie correspond à une fonction sinusoïdale, dont l'amplitude est indiquée par la distance de la poulie à l'engrenage. Une manivelle actionne



Un prédicteur de marée de Lord Kelvin.

l'engrenage, lequel est conçu de telle façon qu'au niveau de chaque poulie, il transforme sa rotation en un mouvement sinusoïdal vertical qui simule la fonction correspondante. Le dispositif combine ainsi toutes les fonctions sinusoïdales en les additionnant, et un curseur trace sur un rouleau, lui aussi en rotation, le signal obtenu, qui n'est autre que la courbe de marée recherchée.

Au cours des années 1920, les calculateurs analogiques mécaniques dits « analyseurs différentiels » connurent un grand succès dans le domaine militaire, en particulier dans les défenses antiaériennes pour le tir sur cibles mouvantes, avec la nécessité d'opérer en temps réel. L'entre-deux-guerres a aussi vu apparaître des « cuves rhéographiques », des

calculateurs analogiques visant à résoudre des problèmes d'hydrodynamique d'écoulement de fluides autour des turbines électriques : des électrodes judicieusement disposées dans une cuve remplie d'eau ou d'huile créaient un champ électrique selon des lois similaires à de nombreux systèmes physiques, qu'il était dès lors plus facile d'étudier à l'aide de ces cuves que sur les systèmes réels ou sur maquette.

Les calculateurs analogiques électroniques, fondés sur l'analogie entre les équations des circuits électroniques et celles des systèmes physiques étudiés, se sont imposés à la fin des années 1940, sonnant le déclin de leurs prédécesseurs mécaniques.

techniques analogiques et, d'autre part, les balbutiements des technologies numériques. C'est indiscutable: quand, au milieu des années 1950, un industriel souhaitait concrètement entrer dans le «calcul électronique», il devait s'équiper en «analogique» et non en «numérique».

Pour se lancer dans le calcul électronique, il fallait s'équiper en analogique

Il faut dire qu'à l'époque, les outils de calcul analogique des industriels étaient encore essentiellement mécaniques: il s'agissait de trouver les solutions d'un problème en construisant un système mécanique analogue, c'est-à-dire décrit par des équations similaires, et pour lequel les mesures étaient plus simples et moins coûteuses. Mais quand, au tournant des années 1950, les amplificateurs opérationnels ont été inventés et ont commencé à être produits en série, les industriels se sont massivement tournés vers le calcul électronique. De fait, constitués à l'époque de tubes électroniques (des électrodes placées dans un tube sous vide), ces dispositifs capables d'amplifier le signal électrique reçu en entrée offraient un moyen simple d'effectuer des opérations mathématiques comme l'addition, la soustraction, l'intégration et la dérivation, ce qui simplifiait considérablement les modélisations. C'est donc le choix que firent EDF et le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) en 1955, aux débuts de l'industrialisation de l'énergie atomique en France.

L'AVÈNEMENT DES CALCULATEURS ÉLECTRONIQUES

EDF passa ainsi commande à la SEA, la Société d'électronique et d'automatisme, d'un analyseur différentiel, un calculateur électronique fondé sur des amplificateurs à courant continu. C'est sur cette machine que, peu après, fut réalisée pour la première fois en France la simulation cinétique d'un réacteur nucléaire. La même année, le CEA créa à Saclay, en banlieue parisienne, un laboratoire de calcul analogique au sein de son service des constructions électriques. Le laboratoire s'équipa d'abord d'une machine comprenant trente amplificateurs – c'est ce nombre qui détermine

la puissance de calcul de ces machines –, puis de deux nouvelles, puis, en 1957, de quatre machines de type «Djinn», produites par la société française Derveaux; il acheta également des machines de la SEA. Du matériel français – on insistait sur ce point à l'époque – dont le coût s'élevait à 25 millions de francs. Ces machines permettaient de tracer plusieurs milliers de courbes, solutions des équations différentielles étudiées.

Dans le domaine nucléaire, les machines analogiques étaient utilisées pour étudier la stabilité, la régulation et la sécurité des réacteurs: les ingénieurs cherchaient à savoir quelles seraient les réponses du réacteur aux perturbations ou aux éventuels accidents. Pour cela, il leur fallait déterminer un modèle mathématique qui représente de façon convenable le fonctionnement du réacteur (équations relatives aux comportements neutroniques et thermiques) et de ses auxiliaires (échangeurs, réfrigérants, groupes tournants, organes de régulation). Chaque sous-partie était ensuite testée par des expérimentations sur machine réelle, ce qui permettait d'obtenir un modèle mathématique global de l'installation. Les ingénieurs pouvaient alors, enfin, mener des essais de sécurité sur la machine analogique, essais très spectaculaires puisqu'il était permis d'effectuer toutes les manœuvres interdites dans la réalité et de simuler tous les incidents susceptibles d'avoir lieu.

À partir de 1958, les études analogiques de Saclay furent menées sur des calculateurs américains EAI 231R, plus précis et plus fiables que les matériels français (voir la photo pages 78 et 79). Le laboratoire disposait alors au total de 260 amplificateurs, 450 potentiomètres manuels, 40 multiplieurs... Dès le début des années 1960, le programme du Centre de calcul analogique de Saclay fut très chargé. Un second laboratoire fut donc créé en 1962 sur le site du CEA de Cadarache, près d'Avignon, lui aussi équipé d'EAI 231R.

De fait, dans ces années, l'entreprise Electronic Associates Inc. (EAI), dans le New Jersey, qui construisait l'EAI 231R, est devenue la principale productrice de calculateurs analogiques. Fondée en 1945 par des ingénieurs du Corps des communications de l'armée américaine, EAI avait fourni à la société Westinghouse, dès 1953, un calculateur pour la conception du Nautilus, le premier sous-marin à propulsion nucléaire. Elle avait connu ensuite un succès commercial considérable avec un client très important, la Nasa, pour le développement des lanceurs spatiaux et des satellites. Son succès était tel qu'au début des années 1960, EAI installa à Bruxelles un centre européen de calcul analogique, où de nombreux ingénieurs vinrent se former au calcul analogique électronique.

Mais, concrètement, qu'est-ce qu'un calculateur analogique électronique? Le nom de ces ➤