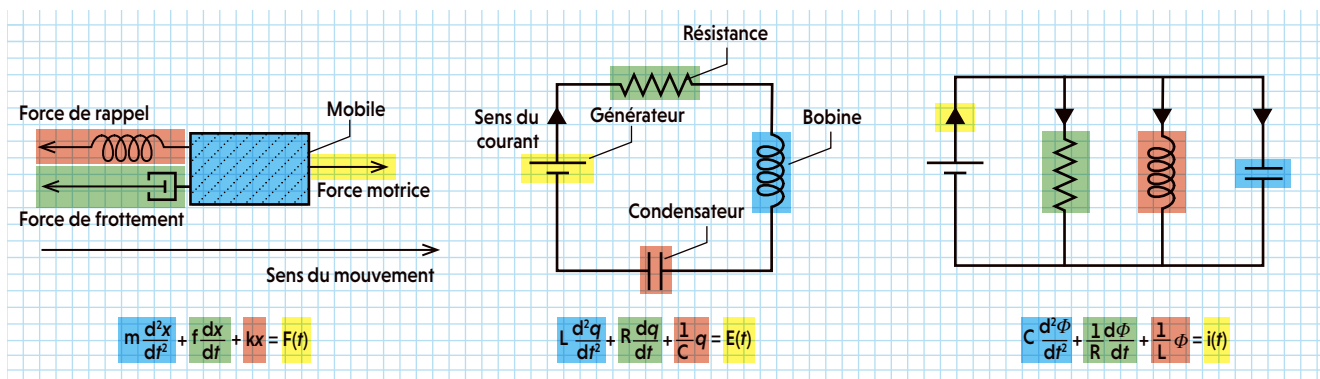




> mémoires de faible capacité. Dans ce domaine numérique, les progrès concernant la taille des mémoires et la vitesse de calcul des machines allaient de pair avec les avancées théoriques mathématiques et algorithmiques.

C'est pourquoi, dès la fin des années 1950, devant les progrès des ordinateurs numériques, les industriels ont commencé à envisager de coupler les techniques analogique et numérique pour bénéficier des avantages de l'une et de l'autre : précision illimitée (ou presque) pour les calculateurs numériques, rapidité, simplicité de programmation et souplesse de calcul pour les calculateurs analogiques. Cette évolution conduisit les constructeurs à proposer des calculateurs dits « hybrides ».

Fabriquée à partir de 1965, la machine EAI 8800, analogique, a ainsi été d'emblée conçue pour être utilisable soit seule, soit couplée à un ordinateur numérique. Entre 1965 et 1970, le CEA, comme d'autres industriels, a peu à peu remplacé ses équipements EAI 231R par des calculateurs hybrides EAI 8900 comportant des unités analogiques 8800 et une unité numérique 8400 (32 000 mots de mémoire avec 32 bits par mot et une interface ayant 32 canaux de conversion). Toutes ces machines étaient interconnectables et offraient la possibilité de traiter des problèmes nécessitant plus de 500 amplificateurs.

Au début des années 1970, tous les grands industriels disposaient de centres de calcul analogique. On en dénombrait 75 en France, dans la chimie, l'aéronautique... Pourtant, c'était déjà le chant du cygne de cette technologie, et les calculateurs hybrides n'ont fait que retarder de quelques années le passage au numérique.

UNE DEUXIÈME VIE CHEZ MATRA DÉFENSE

Mais revenons à notre calculateur EAI 8800. Fabriqué en 1965, il a fait partie de ces machines hybrides qui ont remplacé les équipements E 231R au CEA. Jusqu'au début des années 1970, il a rendu de bons et loyaux services au CEA et à EDF dans la conception des centrales nucléaires. Puis on perd sa trace au milieu des

PROBLÈMES ANALOGUES

Imaginez un mobile de masse m soumis d'une part à une force motrice et, d'autre part, à une force de frottement proportionnelle à sa vitesse et à une force de rappel proportionnelle à son déplacement x (à gauche). L'équation de son mouvement est alors équivalente à celle de la charge électrique q en fonction du temps dans un circuit électrique comportant une résistance, une bobine et un condensateur en série (au centre). Quand le circuit est en parallèle (à droite), une telle équivalence existe aussi à condition d'utiliser comme variable non plus la charge, mais l'intégrale ϕ de la tension par rapport au temps.



Publicité de l'entreprise Derveaux, spécialisée dans la construction de calculateurs analogiques dans les années 1950, parue dans le magazine *L'Onde électrique* en 1956.

années 1970, mais on le retrouve dans la division défense de Matra, au milieu des années 1980, où il a été utilisé pour la conception de missiles air-air, comme me l'a raconté Philippe Longis, chef en 2006 du département Modélisation et simulation de MBDA.

Au début des années 1980, en effet, la complexité croissante des missiles, avec notamment l'introduction des calculateurs de vol embarqués numériques, a conduit les constructeurs de missiles comme Matra à deux évolutions importantes. D'une part, ils se sont mis à développer les simulations numériques, qui sont devenues alors un outil prépondérant pour les études de développement, les algorithmes embarqués, la préparation des tirs et l'évaluation des performances du système. D'autre part, les fabricants de missiles ont dû se doter de moyens de simulation en temps réel permettant de tester des équipements réels de missiles (autodirecteurs, calculateurs embarqués, détecteurs inertiels...) dans un environnement représentatif d'un tir. C'est là que sont intervenus, grâce à leur rapidité de calcul, les calculateurs analogiques électroniques, dont notre EAI 8800.

Dès le début des années 1980, Matra a créé un « laboratoire de simulation avec éléments réels ». Il faut se représenter le missile sur un banc d'essai, connecté au calculateur, tout comme la cible à atteindre. Le calculateur devait réagir aux mouvements de la cible en temps réel pour adapter le vol du missile. Le laboratoire comportait des simulateurs de cible (soit électromagnétiques, soit infrarouges), des simulateurs de mouvements (des simulateurs hydrauliques recréant les mouvements de lacet, tangage et roulis) et des calculateurs effectuant la simulation du vol de missile (aérodynamique, équations de la dynamique du vol, cinématique...). Ces essais étaient réalisés au sol, en laboratoire, et permettaient de valider les matériels de vol dans un grand nombre de tests en environnement virtuel.

À cette époque, les performances des calculateurs numériques ne permettaient pas encore de faire tourner en temps réel ces

simulations. C'est pour cette raison que Matra a choisi un calculateur analogique, où tous les éléments de calcul travaillent en parallèle, et dont le fonctionnement était celui du monde continu que l'on cherchait à simuler. Un calculateur « temps réel » par nature, en somme.

Le calculateur EAI 8800 a été connecté à différentes générations de calculateurs numériques. Leur rôle était notamment de gérer les interfaces avec les éléments réels, qui comportaient de plus en plus d'éléments numériques. Les calculs les plus rapides (dynamiques notamment), eux, restaient l'apanage des calculateurs analogiques.

L'EAI 8800 a permis le développement du missile Super 530 D, le premier missile hybride, avec calculateur embarqué numérique et analogique, et participé au début de celui du missile Mica. Dans les années 1990, les calculateurs numériques n'étaient toujours pas suffisants pour la simulation du dernier modèle, le Mistral. Par la suite, l'EAI 8800 a été associé à une autre génération de calculateur analogique, le Simstar, à câblage automatique des éléments de calculs.

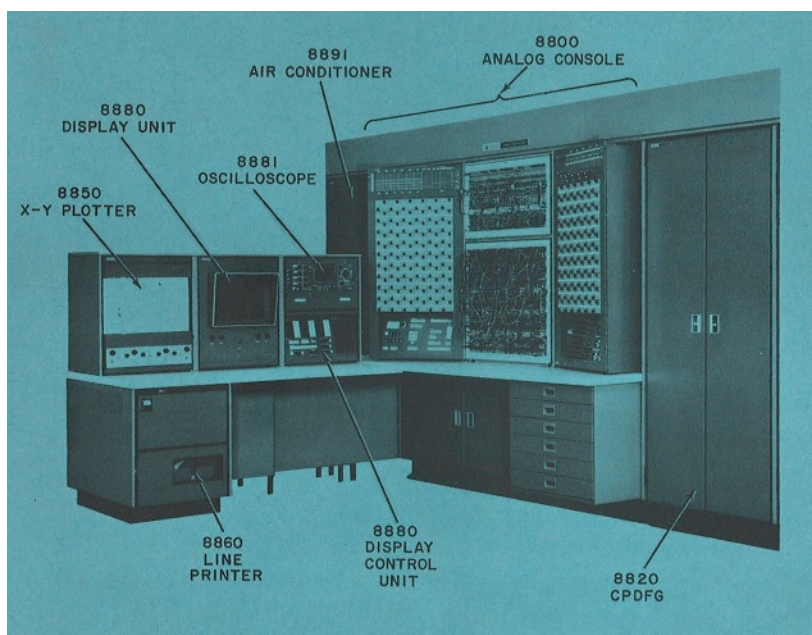
Grâce à cette approche, les missiles ont réduit drastiquement le nombre de tirs. Si dans les années 1960, 200 tirs étaient nécessaires au développement d'un missile, ils n'en réalisaient plus que 15 en 1990, et seulement quelques-uns dans les années 2000. Cette démarche était à la fois économique, car un tir coûte très cher en prototype et en moyens – et un missile ne vole qu'une fois –, et technique, car les tirs étaient devenus insuffisants à eux seuls pour mettre au point un système aussi complexe qu'un missile.

LA POUBELLE OU LE PANTHÉON ?

Pendant une dizaine d'années, l'EAI 8800 a continué à simuler les vols de missiles pour MBDA, jusqu'à ce qu'en 2006, au gré d'un déménagement du service qui l'hébergeait, il atterrisse au musée des Arts et Métiers et y entame sa troisième vie. Sauvegardé et nettoyé, il a depuis intégré les collections du musée.

Ce modèle est d'ailleurs vraisemblablement le seul rescapé au monde. En effet, l'EAI 8800 était une machine rare et chère. À son introduction sur le marché, en 1965, il était vendu entre 100 000 et 500 000 dollars ; et l'EAI 8900 (la forme hybride), entre 700 000 et 1 300 000 dollars. L'EAI 8800 a été produit à peu d'exemplaires, peut-être quelques dizaines, sans doute en raison de son coût et du type d'utilisations très spécifiques de simulation en temps réel que l'on en faisait.

À la différence de l'ordinateur numérique, qui a trouvé des applications dans la finance, la logistique, les bureaux, la communication, les réseaux..., le calculateur EAI 8800 est resté un instrument dédié au calcul scientifique et n'a jamais été utilisé dans d'autres secteurs que la simulation. C'est aussi l'une des raisons de sa



quasi-disparition. À la fin des années 1970, les ordinateurs numériques étaient capables de réaliser presque toutes les fonctions des calculateurs analogiques, mais ils pouvaient en réaliser bien d'autres encore.

Pour autant, le cadavre n'est peut-être pas encore complètement froid. Ce type de calculateurs pourrait connaître un renouveau en dépassant les limites de l'arithmétique binaire, à base de logique sur des 0 et des 1, sur laquelle reposent les ordinateurs actuels. Des modèles fondés sur une logique continue seraient susceptibles d'offrir des solutions plus efficaces, par exemple dans la simulation de certains systèmes biologiques, ou encore dans des modèles d'intelligence artificielle ou de réseaux de neurones.

C'est la voie qu'explorent des chercheurs comme Olivier Bournez, à l'école Polytechnique, à Palaiseau, ou Rahul Sarpeshkar, à l'institut de technologie du Massachusetts (MIT). Le premier a montré en 2017, avec ses collègues, qu'il est possible d'effectuer les mêmes calculs qu'un ordinateur actuel en utilisant seulement des réactions biochimiques, c'est-à-dire des processus analogiques continus. Les concentrations de protéines codent les quantités continues et sont modulées par des réactions chimiques bien choisies. L'équipe du second crée des ordinateurs bio-inspirés fondés sur le calcul analogique que les cellules effectuent quand, par exemple, elles régulent l'expression d'un gène.

Dans ce contexte, avoir préservé le calculateur EAI 8800 aidera peut-être à redécouvrir des démarches et des modes de raisonnement des ingénieurs de la seconde moitié du xx^e siècle, lesquels pourraient se révéler riches d'enseignements pour l'avenir. ■

À l'instar de l'EAI 231R, l'EAI 8800 était couplé à plusieurs modules complémentaires, comme l'indique ici la notice de l'instrument.

BIBLIOGRAPHIE

C. Foasso, **Atomes sous surveillance. Une histoire de la sûreté nucléaire en France**, Peter Lang, 2012.

P.-E. Mounier-Kuhn, **L'Informatique en France**, Presses de l'université Paris-Sorbonne, 2010.

J. S. Small, **The Analogue Alternative : The Electronic Analogue Computer in Britain and the USA, 1930-1975**, Routledge, 2001.

J. Ramunni, **La Physique du calcul. Histoire de l'ordinateur**, Hachette, 1988.

G. A. Korn et T. M. Korn, **Electronic analog and hybrid computers**, 2^e éd., McGraw-Hill, 1972.