

Pourquoi fabriquer des ordinateurs ?

Les outils informatiques étayent la construction d'un monde clos

Parmi toutes les machines que nous a léguées la guerre froide, l'ordinateur numérique connaît un fabuleux destin. Mais qui sait combien l'ordinateur a structuré le climat politique de cette époque ? Et comment, en retour, celui-ci a influencé le développement de l'informatique ?

Paul N. Edwards,

professeur associé à l'université de Michigan, y dirige le programme Science, technologie et société. pne@umich.edu

Texte traduit par Gérard Chevalier.

(1) T.J. McCormick, *America's Half Century*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1989.

Délicat à entretenir, cet assemblage complexe sert de mémoire à l'un des premiers « cerveaux électroniques » de la Navy.

© DITE/USIS

Pendant la guerre froide, les armes mises en œuvre sont légion : ce sont tout autant les idéologies, les alliances diplomatiques, les *think tanks* ou le prestige national que la force aveugle de la haute technologie. De fait, la logique aussi étrange qu'irrésistible de la dissuasion nucléaire exige qu'on développe sans cesse, et sans limitation de budget, des têtes nucléaires, des bombardiers à long rayon d'action, des missiles balistiques intercontinentaux et des satellites. Ces armes jouent un double rôle : sans leur rayon d'action et leur prodigieuse force destructrice, la guerre froide n'aurait jamais pu s'étendre à l'échelle du monde; sans leur pouvoir symbolique, évoquant aussi bien l'Apocalypse que le succès ou l'échec d'ordres sociaux dans leur ensemble, elle n'aurait jamais atteint un tel degré de globalité.

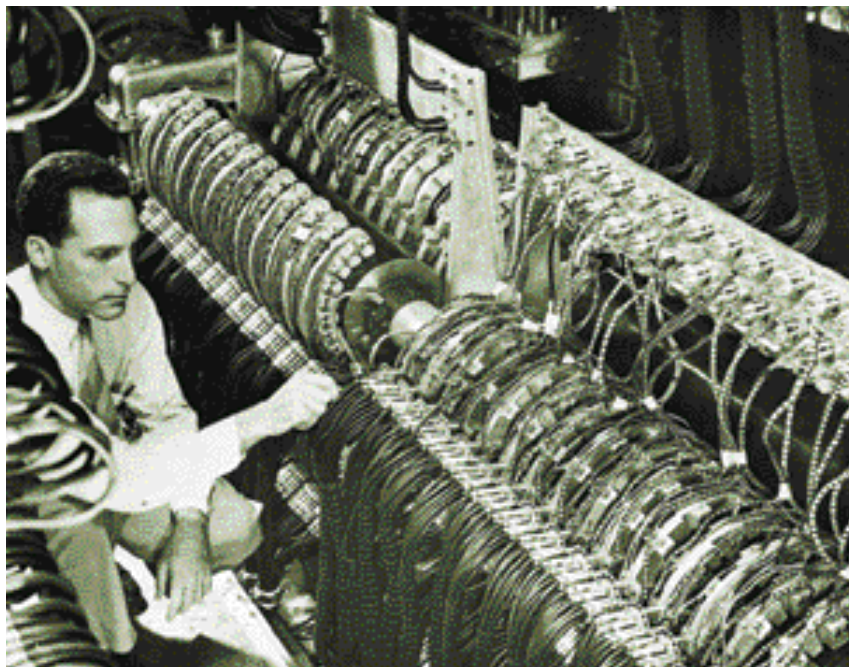
L'ordinateur est au cœur de cette histoire qui, début 1947, amorce un tournant majeur avec une décision du président Truman : dorénavant, les États-Unis soutiendront les forces anticommunistes partout

dans le monde. La doctrine Truman dite de l'« endiguement », qui sous-tendra la posture géopolitique américaine pendant quatre décennies, est animée par une vision du monde singulière, celle d'un monde triplement clos.

Ce monde clos est d'abord celui de l'ennemi, de la société communiste répressive, secrète, qu'entoure l'espace ouvert du capitalisme et de la démocratie. Telle est l'interprétation des auteurs de la métaphore de l'endiguement. Mais le monde clos est aussi le système capitaliste⁽¹⁾. Menacé d'une invasion, celui-ci doit se défendre pour préserver son intégrité. L'échec de la ligne Maginot, pourtant une leçon stratégique majeure de la Seconde Guerre mondiale, n'aura pas réussi à éradiquer le désir d'un bouclier impénétrable ! Dans un troisième sens, la scène globale est aussi un monde clos. La lutte entre la liberté et l'esclavage, la lumière et l'obscurité, le bien et le mal se mène partout et en tout lieu : à l'intérieur du gouvernement américain, de son système social et de ses forces armées, aussi bien qu'à l'étranger.

Arme ultime. Comme chacun sait, dans le monde clos de la guerre froide, tout conflit se déroule à l'ombre de l'arme nucléaire. De façon paradoxale, cette arme ultime signale aussi la limite ultime de la puissance militaire. Après 1949, l'arme nucléaire ne peut plus promettre qu'une issue vide de sens, une impensable victoire à la Pyrrhus. Pour surmonter les contradictions et la terreur que véhicule l'arme nucléaire, la guerre elle-même devient donc autant un champ imaginaire qu'une réalité pratique.

D'une certaine façon, les simulations en tout genre – modèles informatiques, jeux de guerre, analyses statistiques, discours de stratégie nucléaire – sont plus décisives que les armes qui, de fait, ne peuvent pas être utilisées. Pour chaque puissance nucléaire, il s'agit surtout de maintenir un « scénario » gagnant – un gain théâtral ou simulé, un effet politique et psychologique – plutôt que de combattre réellement. Les conséquences n'ont plus vraiment d'importance, puisqu'elles sont trop énormes pour être appréhendées,



* Pour représenter des valeurs discrètes (1, 2, 3, etc.), le **calcul numérique** se sert d'états discrets comme la détente de mécanismes d'horlogerie (mécanique), des états fermés ou ouverts des relais (électromécanique), ou des états positif ou négatif des transistors (électronique). Le **calcul analogique**, en revanche, se sert de variables comme le rapport entre parties mobiles d'une règle à calcul (mécanique), la vitesse d'un rotor de moteur (électromécanique) ou la tension d'un circuit (électronique), pour représenter des quantités qui, elles aussi, varient de manière continue (par exemple, toute valeur entre 0 et 10).

* Ayant participé au développement de l'ENIAC, le premier ordinateur numérique américain développé à l'université de Pennsylvanie, les ingénieurs John Mauchly et Presper Eckert s'investissent dans le privé. La société qu'ils forment développe d'abord le BINAC, premier ordinateur à programmation interne (en 1949), puis l'Univac, le premier ordinateur commercial (sa première unité est livrée en 1951).

IBM ne développe son ordinateur de série qu'après avoir reçu des intentions d'achat des clients du département de la Défense

trop dangereuses pour être testées. Pour ses stratèges, la guerre nucléaire ne peut se jouer que sur de multiples niveaux, très intriqués les uns avec les autres.

Symbolique et utile. Les ordinateurs sont l'exemple parfait de cette impossibilité de séparer armes et outils, outils et métaphores, métaphores et actes politiques. A travers leur implémentation dans un grand nombre de systèmes conçus pour des besoins aussi divers que la défense aérienne, l'analyse de données, la surveillance par satellite ou le commandement militaire, ils participent à la mise en place accélérée de la guerre froide. A partir du début des années 1960, ils deviennent certes des composants indispensables des armes « intelligentes », missiles guidés, missiles de croisière ou avions à réaction. Mais, au sein des mondes idéologiques de la guerre froide, ils acquièrent en même temps une immense importance symbolique et pratique. N'offrent-ils pas les moyens de mettre en place une surveillance totale ? Ne suggèrent-ils pas des solutions « technico-rationnelles » à une myriade de problèmes complexes ? **Durant la Seconde Guerre mondiale**, la quasi-totalité de la recherche américaine sur les ordinateurs, à l'instar de toute la recherche nationale, avait été financée par le département de la Guerre. L'Eniac, le premier ordinateur numérique électronique, avait été construit pour automatiser le calcul de tables balistiques. Achevé seulement en 1946, sa première tâche fut de résoudre une équation de physique pour la recherche sur la bombe à hydrogène menée au laboratoire de Los Alamos.

Après la guerre, les agences militaires – en particulier le Bureau de la recherche navale et l'Air Force – continuent à assurer la majorité du soutien financier de la recherche et développement en informatique⁽²⁾. Même lorsque les fonds proviennent de sources industrielles, c'est habituellement l'espoir de commandes militaires qui pousse les sociétés à investir. C'est par exemple à ses propres frais que IBM développe son premier ordinateur de série (le 701, d'abord connu sous le nom de « calculateur de la défense », vendu à partir de 1953), mais seulement après avoir reçu des intentions d'achat de la part de 18 clients du département de la Défense.

Avant 1953, chaque ordinateur numérique n'est qu'un prototype, conçu pour des capacités spécifiques et doté de limites contraignantes. La forme des ordinateurs, en tant qu'outil, est encore extrêmement malléable. Dans le processus de leur développement, les interactions entre les besoins pratiques des forces armées, leurs objectifs stratégiques et leurs impératifs institutionnels jouent un rôle majeur.

On en jugera à l'aune du projet qui, de quelque façon qu'on l'envisage, en terme d'échelle, de coût, d'avancée technique, de portée de la recherche ou de son influence sur d'autres développements, sera le plus important de la décennie 1946-1956 : le programme Whirlwind (en français, « tornade ») du Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Whirlwind trouve son origine à la fin de l'année 1944 dans un système de contrôle et de stabilité aéronautique (ASCA), plus précisément un ordinateur analogique* devant être intégré à un simulateur de vol polyvalent. Subventionné par le Centre des engins spéciaux de la marine, ce projet vise à réduire le temps et les coûts de développement des nouveaux avions et à faciliter l'entraînement des pilotes⁽³⁾. Les chercheurs du MIT y travaillent pendant presque un an, mais ils se heurtent vite à la complexité de calculs qui, pour faire fonctionner le simulateur dans des conditions réalistes, exigent de résoudre simultanément et en temps réel des équations comportant plus d'une centaine de variables. Au milieu de l'année 1946, le directeur du projet, Jay Forrester, abandonne l'approche analogique. Il se réoriente vers la conception d'un ordinateur numérique* polyvalent – le Whirlwind –, pour lequel le simulateur de vol ne constituerait qu'une application possible. L'ambition est vaste, mais la marine persiste à ne voir ce projet qu'en termes de simulateur de vol. Cette exigence n'est pas sans conséquence : parce qu'elle implique une machine qui, premièrement, peut être utilisée comme mécanisme de contrôle et, deuxièmement, doit s'acquitter de cette tâche en temps réel, elle fait de Whirlwind un projet profondément différent de tous ses contemporains. A l'époque, assigner de tels objectifs à une machine numérique n'a rien d'évident. Les ordinateurs analogiques et les servomécanismes dominent l'ingénierie du contrôle. Ils font partie d'une technologie mature, bien maîtrisée. Ils n'exigent notamment aucune conversion des *inputs* en données numériques, ce qui représente encore une sérieuse difficulté. Par comparaison, les ordinateurs électroniques numériques présentent de graves problèmes, que ce soit en matière de fiabilité et de dimension des composants, de consommation d'énergie ou de coût. La valeur relative des machines programmables polyvalentes par rapport à des machines dédiées fait encore l'objet de vifs débats. Pour ceux qui travaillent sur les ordinateurs dans les années 1940, bien peu les identifient comme de potentiels systèmes de contrôle : les machines numériques sont avant tout des calculateurs géants. Howard Aiken, qui a conçu pendant la guerre l'ordinateur électromécanique Mark I à Harvard, écrit même à Forrester qu'« *il n'y aura jamais assez de problèmes, assez de travail, pour occuper plus d'un ou deux de ces ordinateurs* ».

Coût exorbitant. En 1948, avec le déclin des budgets militaires, le Bureau de la recherche navale menace de retirer son soutien à un projet dont le coût devient exorbitant : là où un ordinateur comme l'Univac* coûte typiquement entre 300 000 et 600 000 dollars, Whirlwind projette de dépenser au moins 4 millions de dollars ! Sans compter qu'un simulateur de vol ne constitue plus un besoin véritablement critique pour la marine...

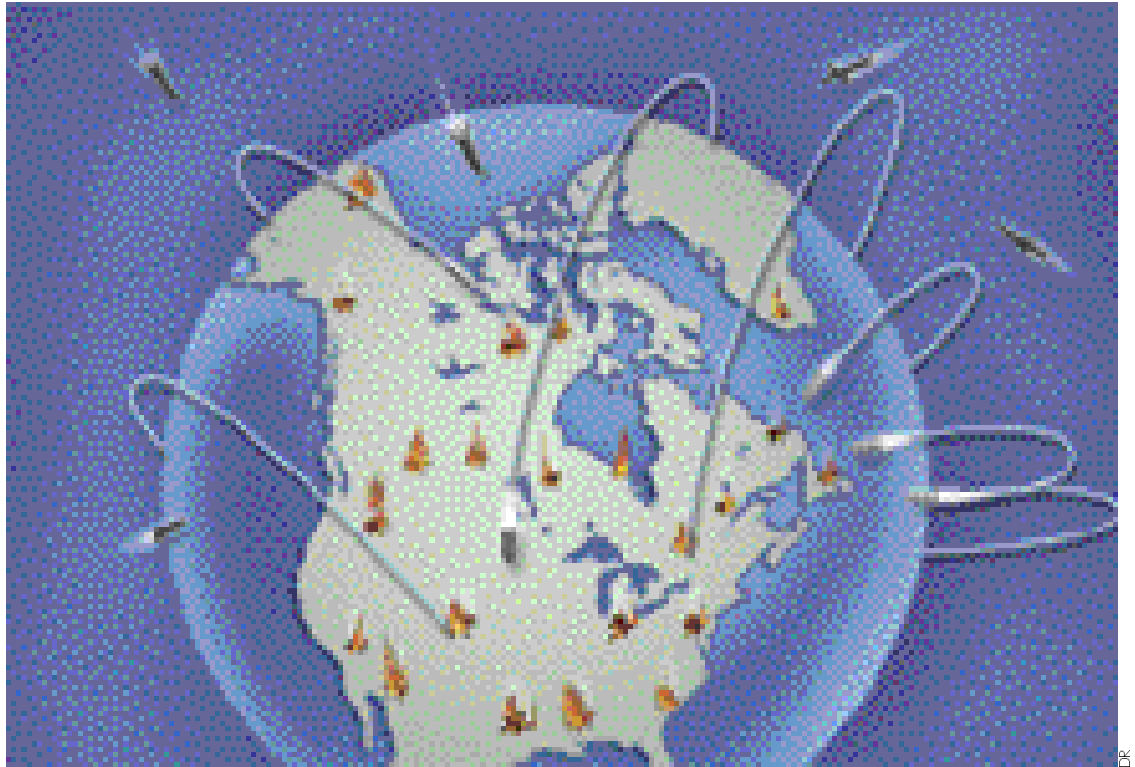
Forrester se met donc en quête d'un nouveau sponsor institutionnel et, surtout, d'une justification mili-

(2) K. Flamm, *Creating the Computer*, Washington DC, Brookings Institution, 1988.

(3) M. Rees, « The Computing Program of the Office of Naval Research, 1946-1953 », *Annals of the History of Computing*, 4:2, 113, 1982.

(4) J. W. Forrester *et al.*, « A Plan for Digital Information-Handling Equipment in the Military Establishment », Project DIC 6345, MIT Servomechanisms Laboratory, 14 septembre 1948.

Si les bombardiers nucléaires soviétiques font peser une telle menace sur le territoire national, comment ne pas croire à la nécessité d'un système de protection généralisé? (schéma tiré d'un document émis par l'armée américaine pendant la guerre froide).



taire nouvelle, au degré d'urgence incontestable. Il l'identifie dans le calcul numérique militaire et, pour le développer, le groupe Whirlwind dresse un plan sur quinze ans. Montant total : 2 milliards de dollars! Les applications envisagées sont multiples : automatisation du contrôle du trafic aérien, défense aérienne, communications, logistique, etc., quasiment tous les domaines de la sphère militaire sont concernés. Le simulateur de vol est abandonné tandis que prend forme ce plan grandiose et, rétrospectivement, d'une indéniable valeur prophétique⁽⁴⁾. Mais comment convaincre des décideurs qui ne sont pas doués des mêmes capacités d'imagination? Au cours de ces années-là, la question des armes

nucléaires domine déjà l'ordre du jour politique et militaire. Pendant la guerre, le « bombardement stratégique », c'est-à-dire le bombardement de villes entières, avait constitué un axe stratégique majeur pour les Alliés. Au-delà de la terreur engendrée sur les populations civiles, des études ultérieures révèlent sa relative inefficacité militaire. Mais peu importe pour l'Air Force, qui, dès 1946, élabore un plan prévoyant le bombardement atomique de 50 villes soviétiques. Deux ans plus tard, le Conseil de sécurité nationale autorise ses stratèges à prendre en compte la disponibilité d'un nombre croissant d'armes nucléaires et à élaborer une politique dite de « prompt utilisation ».

« La meilleure défense, c'est l'attaque » : ce principe bien connu s'applique par excellence aux bombardiers nucléaires

De quoi s'agit-il ? Par essence, d'une doctrine de frappes préventives. A la fin des années 1940, la faible qualité de la technologie radar existante, la complexité du combat en trois dimensions, la portée très limitée des armes antiaériennes et la taille énorme du territoire américain plaident contre la mise sur pied d'une défense aérienne à grande échelle. Un principe bien connu s'applique donc par excellence aux bombardiers nucléaires : « La meilleure défense, c'est l'attaque. » Mais la politique de prompt utilisation est un secret militaire très bien gardé, avec une efficacité telle qu'« il est probable que peu de gens dans le gouvernement ou à la Rand Corporation [le think tank de l'Air Force] ont réalisé à quel point la stratégie nucléaire américaine [...] était basée sur l'hypothèse que les États-Unis lanceraient la première frappe avec la bombe »⁽⁵⁾. Une telle stratégie laisse à l'évidence un rôle négligeable à une défense aérienne active. La situation

résoudre, il décide de faire appel à des ordinateurs numériques. Le mois suivant, il apprend l'existence, alors précaire, du projet Whirlwind.

La date de la rencontre de Valley avec l'équipe de Whirlwind relève du hasard. Un rapport du département de la Défense (DoD) venait d'aboutir à cette conclusion : « Les coûts d'achèvement de Whirlwind [...] se montent à 27 % du coût total du programme informatique du DoD⁽⁶⁾. » En l'absence d'une utilité finale plus pressante, le comité d'experts avait tranché qu'il était impossible de justifier de telles dépenses. Le budget prévisionnel pour l'année suivante avait été réduit à une maigre enveloppe de 250000 dollars. Mais, à cet instant, Valley dispose, ou croit disposer, d'un chèque en blanc de l'Air Force. En dépit d'une première impression peu favorable, il noue des contacts avec son collègue Forrester. Whirlwind est sauvé.

Valley, Forrester et leurs équipes élaborent rapidement un plan pour la défense aérienne du périmètre national à l'aide d'ordinateurs centraux. Les machines contrôleront les radars et, dans le cas d'une attaque d'un bombardier soviétique, désigneront des intercepteurs pour chaque avion agresseur et coordonneront la réponse défensive. Ce projet ambitieux sera bientôt désigné par l'acronyme SAGE (Semi Automated Ground Environment - « environnement au sol semi-automatisé »).

Le premier centre SAGE sera opérationnel moins de dix ans plus tard, en 1958, mettant en œuvre des ordinateurs IBM FSQ-7 construits à partir du prototype Whirlwind de Forrester. En 1961, 23 secteurs seront en fonctionnement. Pour un coût total qui se situe quelque part entre 5 et 12 milliards de dollars... Chaque centre SAGE est installé dans un bâtiment aveugle, avec des murs en béton de deux mètres d'épaisseur, et occupe 8000 m² de terrain. Le deuxième étage du bâtiment abrite deux ordinateurs AN/FSQ-7, destinés à fonctionner en tandem, l'un palliant les pannes de l'autre. Pesant 270 tonnes, occupant 2000 m², les 70 armoires des FSQ-7 renferment 58000 tubes à vide. Les consoles de visualisation et l'équipement téléphonique nécessitent une autre surface au sol de 2000 m². Il faut enfin une centrale électrique autonome pour alimenter l'ordinateur, le système de climatisation et les commutateurs téléphoniques.

Automatique. Comment fonctionne, en théorie, un centre SAGE ? Il reçoit et traite automatiquement non seulement des données numériques radar codées, mais aussi des rapports météorologiques, des informations sur le statut des bases aériennes et des missiles, les plans de vol des avions américains, et tout autre renseignement transmis par téléphone ou télétype. Chaque centre suit tous les avions dans son secteur et les identifie comme « ami » ou « inconnu ». Sur des « écrans de visualisation de la situation aérienne », des informations relatives aux avions s'affichent sur une carte schématique du secteur. Des opérateurs regardent en permanence l'image de la situation en cours et décident des réponses appro-



Pour abriter les éléments de l'informatique du système SAGE, il ne fallait pas moins de 70 armoires renfermant 58000 tubes à vide. Poids total : 270 tonnes !

© DITE/USIS

change radicalement quand, en septembre 1949, l'Union soviétique fait exploser sa première bombe atomique. Devant les chefs d'état-major, le commandant en chef de l'Air Force, Hoyt Vandenberg, décrète « une urgence et une priorité du même ordre que le projet Manhattan ». Une exigence de protection émane des populations civiles, en particulier dans l'État de Washington, là où sont situés les usines Boeing et le complexe nucléaire de Hanford. Peu après, quand la guerre de Corée éclate en 1950, des subventions de recherche d'une amplitude équivalente à celles de la Seconde Guerre mondiale refont leur apparition.

L'Air Force sollicite les scientifiques pour des idées nouvelles, et plusieurs projets majeurs sont bientôt engagés. Le premier d'entre eux voit le jour dès le mois de décembre 1949 avec la création d'un comité d'ingénierie des systèmes de défense aérienne, présidé par un professeur du MIT, George Valley. Celui-ci mesure immédiatement l'énormité du problème de calcul qui, à partir d'échos radar, requiert la triangulation en temps réel des positions de multiples avions et la détermination de leurs vitesses. Pour le

(5) G. Herken, *Counsels of War*, New York, Knopf, 1983.

(6) K.C. Redmond, T.M. Smith, *Project Whirlwind: The History of a Pioneer Computer*, Boston, Digital Press, 1980.



Photographié pour un reportage du magazine *Life*, en 1957, un opérateur du système SAGE gère son secteur aérien en toute tranquillité, « *l'esprit libre pour prendre les nécessaires jugements humains sur le combat* ».

© The Computer Museum History Center

priées. En situation critique, l'ordinateur génère les coordonnées de l'interception à effectuer et les relaie aux pilotes automatiques des avions intercepteurs. Sauf en cas d'intervention des pilotes humains, ces intercepteurs volent sous contrôle automatique total à distance proche de l'avion inconnu.

Qui ne serait tenté de voir dans un centre SAGE l'archétype du monde clos? Emmuré et isolé, le monde y est représenté de façon abstraite sur un écran cathodique et, grâce à l'ordinateur, il paraît gérable de façon cohérente et rationnelle. En 1957, un reportage du magazine *Life* donne à voir ces « salles bleues » où les opérateurs de SAGE utilisent des pistolets de lumière pour désigner des spots sur leurs écrans. « *L'énorme ordinateur électronique* », selon *Life*, est capable de « résumer les données et de les présenter si clairement que les hommes de l'Air Force qui gèrent SAGE peuvent rester tranquillement assis à l'intérieur de ces salles à l'étrange lumière, face à leurs consoles, l'esprit libre pour prendre les nécessaires jugements humains sur le combat – où et quand combattre »⁽⁷⁾.

Les stratégies militaires réalisent bientôt que la technologie de type SAGE peut être mise à profit pour

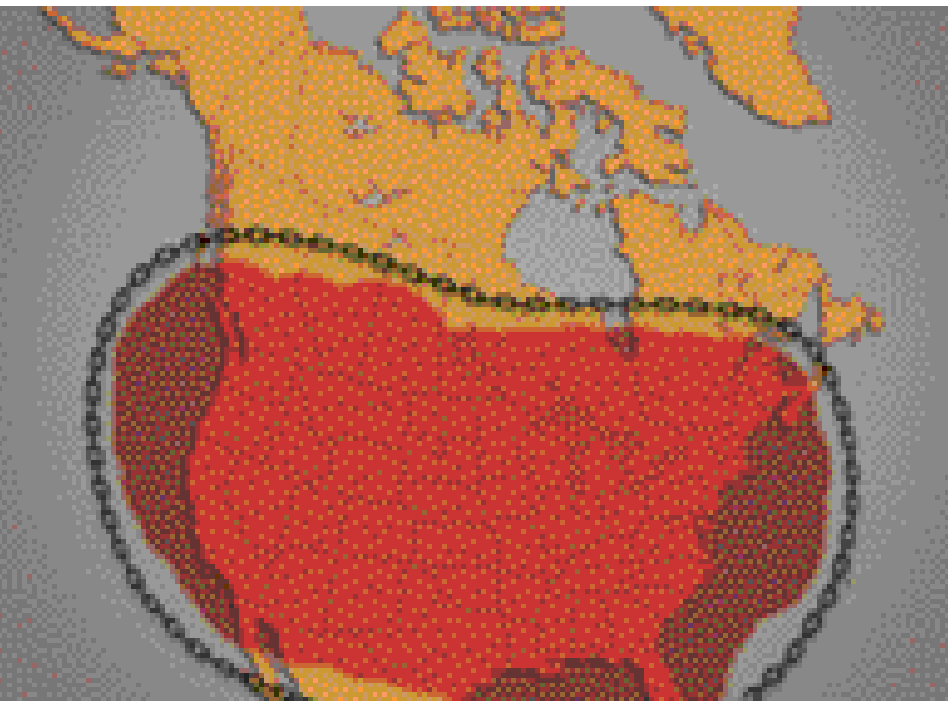
gérer tout aussi bien des armes offensives. Or, l'ère des missiles intercontinentaux se profile déjà à la fin des années 1950. Avec ces engins non pilotés, les temps de réponse seront raccourcis, ils se compteront en minutes plutôt qu'en heures. Comment réagir efficacement sans des systèmes coordonnés et automatisés?

En fait, le système SAGE ne fonctionnera jamais comme ses concepteurs l'avaient prévu! Le contrôle automatique se révèle une illusion (encore aujourd'hui...). Quelles que soient les capacités des ordinateurs et de leurs programmes, une bonne partie de la tâche reste en effet aux mains des opérateurs humains. Or, les procédures formelles codifiées dans des manuels sont si rigides qu'une faible quantité de brouillage radar paralyse aisément le système. Des échanges verbaux entre les opérateurs permettent parfois de résoudre ce type de problème, mais ils n'apparaissent jamais dans les rapports officiels⁽⁸⁾.

En dépit de ces dysfonctionnements, l'enthousiasme technologique caractéristique de la culture américaine incite les stratégies de l'Air Force à adopter

(7) « Pushbutton Defense for Air War », *Life*, 42 : 6, 62, 1957.

(8) P. Bracken, *The Command and Control of Nuclear Forces*, New Haven, Yale University Press, 1983.



Grâce au système SAGE, l'Amérique du Nord est entourée d'une solide clôture ! (Tiré d'un document officiel du Norad.)

Plus tard, l'Air Force reliera ces divers systèmes d'alerte informatique sous le mont Cheyenne, dans le Colorado.

SAGE comme modèle d'alerte et de contrôle nucléaire. De la fin des années 1950 au début des années 1960, SAGE – le projet Air Force 416L – sera ainsi la matrice d'au moins 25 autres projets majeurs du même type : les « Big L ».

Le 465L, le système de commandement et de contrôle du Strategic Air Command (SACCS), destiné au bombardement stratégique de l'URSS, sera l'un des plus importants héritiers de SAGE. Comptant plus de 1 million de lignes, son programme est quatre fois plus long et exigera 1400 hommes-années de programmation. En 1962, offrant une couverture globale, le World Wide Military Command and Control System (WWMCCS) verra le jour à son tour. Avec un réseau de communication incluant des satellites militaires, ce système permet en théorie la commande centralisée et en temps réel des forces américaines dans le monde entier. Plus tard, l'Air Force reliera ces divers systèmes d'alerte informatique sur la base du Norad, sous le mont Cheyenne, dans le Colorado.

Plus haut, j'ai défini trois versions de la politique du monde clos : l'Ouest en tant que monde enfermé à l'intérieur de ses protections, l'URSS en tant que monde clos à pénétrer ; et le globe en tant que monde enfermé à l'intérieur du conflit capitalisme/communisme. Dans les Big L, chacune de ces versions se trouve incarnée. Le processus a débuté par SAGE, qui a enfermé les Etats-Unis à l'intérieur d'une clôture de radars et d'une bulle antiaérienne. SACCS a suivi avec un système destiné à la pénétration de l'empire fermé soviétique. Et WWMCCS l'a complété en permettant une gestion du conflit à l'échelle globale.

Mais quel fut le potentiel militaire réel de SAGE ? Parmi tous ceux qui ont travaillé sur ce projet, la plupart étaient probablement conscients de sa faiblesse. On en veut pour preuve l'une des nombreuses ironies de SAGE : les centres de contrôle n'ont jamais

pris place dans des bunkers enterrés, hors d'atteinte de l'ennemi. A la place, l'Air Force installe la plupart de ses centres SAGE sur des bases du Strategic Air Command. Cette décision n'a qu'une seule justification sur le plan stratégique : personne n'a jamais eu l'intention de recourir au système d'alerte et d'interception de SAGE en situation réelle. Les stratèges savaient qu'il fallait frapper les Russes en premier et qu'après le coup de tonnerre de cette frappe initiale les défenses aériennes du territoire américain n'auraient probablement à faire face qu'à une contre-attaque faible et désorganisée.

Techniquement périmé. Autre ironie, le système SAGE est dépassé avant d'être achevé. Au moment où il devient pleinement opérationnel, en 1961, il est militairement discrédité par l'irruption des missiles balistiques intercontinentaux (les centres SAGE auraient été parmi les premières cibles détruites dans une guerre nucléaire). De plus, il est techniquement périmé par l'arrivée des transistors et des circuits intégrés (six centres SAGE, équipés des tubes à vide d'origine, seront pourtant encore en opération en 1983).

Pour autant, affirmerait-on que SAGE n'a pas « marché » ? On observera d'abord qu'il a « marché » particulièrement bien pour les informaticiens qui bénéficièrent de sa politique industrielle d'accompagnement. Ses retombées directes sont en effet nombreuses : systèmes de visualisation graphique, calcul en temps réel, langages de programmation algébrique, etc. Les programmeurs de SAGE furent le plus grand corps de concepteurs de logiciels dans les années 1950. Certains d'entre eux créèrent ce qu'on n'appelait pas encore des start-up, comme la célèbre Digital Equipment Corp (DEC). Pour une société déjà bien établie comme IBM, les subventions liées à SAGE s'élevèrent à quelque 500 millions de dollars dans les années 1950. IBM y gagna non seulement des revenus substantiels, mais surtout un savoir-faire technique inégalé. Sans l'apport de SAGE, IBM aurait-elle dominé le marché mondial de l'informatique dans les années 1960 ?

Mais le plus important est peut-être ailleurs : SAGE a d'abord fonctionné en tant qu'idéologie. En créant l'impression que les Etats-Unis disposaient d'une défense aérienne active, il apaisa le sentiment d'impuissance face à la peur nucléaire. Ainsi, SAGE et ses ordinateurs furent bien plus qu'un système d'armement : un rêve, un mythe, une métaphore pour une défense totale, en résumé « la » technologie du discours du monde clos. ■ P.N. E.

Pour en savoir plus

- P. N. Edwards, *The Closed World. Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge, MIT Press, 1996.
- K. Flamm, *Targeting the Computer*, Washington DC, Brookings Institution, 1987.

- L'histoire du système SAGE : www.sagesite.info/
- Les archives du MIT : web.mit.edu/about-mit.html
- Et aussi : www.larecherche.fr