

## L'histoire comme systèmes en évolution

In: Annales. Histoire, Sciences Sociales. 53e année, N. 4-5, 1998. pp. 839-857.

---

### Résumé

History as evolving systems. T.P. Hughes.

This essay presents an approach to the history of technology which focuses both on technical systems and on sociotechnical systems. The former consist of artifactual components; the latter involve both artifactual and organizational components. A concept of reverse salients is used to explain the way in which systems synchronically and diachronically evolve. The essay also explores the nature of creativity, especially the creation of technical and sociotechnical systems by individual and collective system builders.

---

### Citer ce document / Cite this document :

Hughes Thomas P., Cohen Yves. L'histoire comme systèmes en évolution. In: Annales. Histoire, Sciences Sociales. 53e année, N. 4-5, 1998. pp. 839-857.

doi : 10.3406/ahess.1998.279702

[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ahess\\_0395-2649\\_1998\\_num\\_53\\_4\\_279702](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ahess_0395-2649_1998_num_53_4_279702)

---

# *LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES*

## **L'HISTOIRE COMME SYSTÈMES EN ÉVOLUTION**

Thomas P. HUGHES

L'objectif de cet article est de réfléchir, à l'invitation des *Annales*, sur ma façon d'écrire l'histoire des techniques. Je m'intéresse aux systèmes techniques (qui sont constitués de composants artificiels) et aux systèmes socio-techniques (qui comportent à la fois des composants artificiels et des composants organisationnels). J'utilise un concept de « saillants rentrants » (*reverse salients*) pour expliquer la manière dont les systèmes évoluent à la fois en synchronie et en diachronie<sup>1</sup>. J'étudie également la nature de la créativité, et spécialement la création de ces systèmes techniques et socio-techniques. Dans mon travail antérieur, je me suis concentré sur les « constructeurs de système », c'est-à-dire ceux qui ont créé ces systèmes techniques. Je m'intéresse actuellement aux constructeurs collectifs qui édifient de gigantesques systèmes socio-techniques. La description de l'évolution de tels systèmes requiert des modèles complexes et formalisés.

### ***Des systèmes qui évoluent***

Les images et les métaphores de la machine, que les historiens utilisent si souvent dans leurs récits, sont insuffisantes comme outil explicatif pour l'historien des techniques qui décrit les systèmes techniques et socio-techniques formés de composants en interaction. Il ne nous est pas difficile de comprendre verbalement et visuellement des images mécaniques comme une roue qui mène un engrenage, un train d'engrenages qui actionne une série de cames et des cames qui commandent des transmissions mécaniques. Nous comprenons Le Corbusier quand il dit que la maison est une machine à habiter ou un politologue qui évoque la machine gouvernementale. L'ana-

\* Avec la collaboration d'Agatha HUGHES.

1. J'emprunte à Madeleine Akrich sa traduction de *reverse salients* (« Comment sortir de la dichotomie technique/société. Présentation des diverses sociologies de la technique », *De la préhistoire aux missiles balistiques*, Bruno LATOUR et Pierre LEMONNIER éds, Paris, La Découverte, 1994, pp. 105-131) (Ndt).

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

logie entre la transmission linéaire d'une machine et une causalité diachronique paraît d'une évidence aveuglante.

Aujourd'hui pourtant, loin de continuer à vivre dans une ère dominée par de simples machines, nous sommes à un âge de systèmes. Entourés de systèmes de transports, de communication, d'armes, d'information, de systèmes énergétiques, environnementaux et autres, nous avons maintenant à notre disposition toute une série d'images et de métaphores bien adaptées à la description de ces systèmes techniques et socio-techniques. Les interactions entre sous-systèmes, les interfaces entre composants faiblement interconnectés et la complexité brouillée de systèmes mis en réseau nous en fournissent de nouvelles. L'historien qui s'intéresse à l'histoire récente et aux systèmes techniques et socio-techniques en évolution a besoin d'utiliser de nouvelles images et métaphores de ce genre pour écrire une histoire qui soit synchronique et diachronique, synchronique pour saisir les interactions concourantes et diachronique pour décrire le système dans son évolution.

Dans *Networks of Power*, je propose un modèle de systèmes techniques et socio-techniques comportant de nombreux composants qui interagissent et évoluent<sup>2</sup>. L'invention de Thomas Edison et le développement d'un système d'éclairage à courant continu, tel qu'il en a été installé pour la première fois dans le quartier de Wall Street à Manhattan en 1882, fournissent un exemple classique de système technique en évolution. Constitué de nombreux composants artificiels, le système d'Edison n'a pas connu une évolution régulière. Edison et ses associés ont amélioré les composants les uns après les autres en répondant aux problèmes qui survenaient les uns après les autres. Comme ils avaient besoin d'élargir le périmètre de fourniturer, ils ont installé un câblage de 220 volts à trois fils pour remplacer le système de distribution d'origine de 110 volts à deux fils. Cette transformation a entraîné des modifications adaptées dans les autres composants du système, comme les dynamos, car des composants mal assortis auraient mis en danger le système. Des constructeurs de système comme Edison savaient que les changements dans un composant se transmettent en cascade à travers le système et créent des « saillants rentrants »<sup>3</sup>.

Quittant les systèmes à composants matériels, tournons-nous maintenant vers les systèmes socio-techniques, qu'on appelle parfois des « cyborgs », et qui contiennent des composants inanimés et animés — techniques et organisationnels. Un constructeur de système peut à l'occasion se révéler d'une adresse toute spéciale dans la création et la gestion de systèmes socio-techniques. Ainsi Walther Rathenau, un homme tout en qualités qui a servi à Robert Musil de modèle pour Paul Arnheim dans *L'homme sans qualités*. On se souvient de Rathenau comme organisateur de l'économie allemande pendant la première guerre mondiale et, après la guerre, comme le ministre

2. Thomas P. HUGHES, *Networks of Power. Electrification in Western Society, 1880-1930*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1983, 474 p.

3. L'expression est empruntée à l'histoire militaire. En 1916, Verdun constituait pour les Allemands une poche rentrante dans un front occidental en oscillation constante.

allemand des Affaires étrangères qui a négocié le traité de Rapallo avec l'Union soviétique.

Toute évocation de Rathenau s'épuise pourtant à suggérer ses innombrables qualités<sup>4</sup>. Musil, dans la caractérisation qu'il fait d'Arnheim, saisit l'essence de Rathenau, constructeur de systèmes extrêmement complexes :

Son activité s'étendait sur tous les continents de la terre et de la connaissance. Il connaissait tout : les philosophes, la finance, la musique, le monde et le sport [...]. Il voyait parfois flotter devant ses yeux le rêve d'une époque weimarienne ou florentine de l'industrie et du commerce, où régneraient des personnalités puissantes qui sauraient accroître le bien-être général et seraient qualifiées pour réunir dans leur personne et diriger d'en haut les productions séparées de la technique, de la science et des arts. Lui-même s'en sentait capable [...]. Il nommait cela « le Mystère du Tout »<sup>5</sup>.

Vers 1913, Rathenau, incarnation du mystère du tout ainsi que fils d'Emile, fondateur de l'entreprise d'électricité *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft* (AEG), était devenu président du conseil d'administration de cette firme et en même temps il était membre de l'Aufsichtsrat (conseil de surveillance) du Vorstand (comité de direction) de quatre-vingt-quatre autres grandes sociétés. On peut soutenir qu'AEG était la plus grande combinaison d'entreprises industrielles intégrées verticalement et horizontalement sous contrôle centralisé en Europe. Depuis cette position stratégique, Rathenau a contribué à la création et à la direction d'un système en interaction formé de composants techniques d'une part, comme des machines à vapeur, des générateurs et des moteurs électriques, et de composants organisationnels de l'autre, comme des sociétés de production, de service, de construction et de finance. Ce système comportait AEG, les *Berliner Elektrizitätswerke* (BEW) qui fournissaient l'électricité de Berlin, la Berliner Handels-Gesellschaft, une banque d'investissement allemande aux liens étroits avec AEG, et la Bank für Elektrische Unternehmungen (Elektrobank) à Zurich, qui finançait pour AEG la construction de systèmes d'alimentation électrique et d'éclairage<sup>6</sup>.

Présidant au sort de systèmes aussi vastes et multiples, les bâtisseurs de système — un individu parfois, sinon un comité — devaient réagir à toute une série de saillants rentrants. Quelquefois, un composant dépassé du système (comme une machine à vapeur alternative) était susceptible d'être remplacé par un nouveau (une turbine à vapeur plus efficace). Dans d'autres cas, la solution se trouvait dans la fusion de plusieurs compagnies

4. Thomas P. HUGHES, « Walter Rathenau : "system builder" », dans *Ein Mann vieler Eigenschaften : Walter Rathenau und die Kultur der Moderne*, Tilman BUDDENSIEG, Thomas HUGHES, Jürgen KOCKA et al., Berlin, Wagenbach, 1990, pp. 9-31.

5. Robert MUSIL, *L'homme sans qualités*, trad. par Philippe Jaccottet, Paris, Gallimard, « Folio », 1973, vol. 1, pp. 297 et 302.

6. Voir la participation de Rathenau à des conseils de surveillance de sociétés par action en 1907-1922, dans Hartmut POGGE VON STRANGLANN éd., *Walther Rathenau: Industrialist, Bunker, Intellectual and Politician: Notes and Diaries 1907-1922*, Oxford, Clarendon Press, 1985, pp. 296-298.

## **LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES**

d'alimentation électrique pour maximiser le facteur de charge (*load factor*) du système. Une banque d'investissement, pièce de système socio-technique, pouvait avoir à baisser ses taux d'intérêt pour soutenir la vente d'équipement électrique à une entreprise du système. Ou encore, une société de construction pouvait avoir besoin de présenter un plan de centrale qui s'accorde avec l'équipement nouveau fourni par un fabricant. Le constructeur de système doit constamment se tenir au poste de pilotage des systèmes socio-techniques en évolution pour corriger les saillants rentrants qui ne cessent de se former.

### ***Saillants rentrants***

Le concept de saillants rentrants fournit le moyen de décrire des systèmes techniques et socio-techniques en évolution comme ceux qu'ont créés et dirigés Edison et Rathenau. Les chefs militaires définissent le saillant rentrant comme une poche inversée dans un front étendu composé lui-même de soldats et d'équipement. Le front change dans la durée avec des saillants rentrants et des saillants tout court (poches avancées) qui apparaissent le long de la ligne. Le front militaire qui se modifie sans cesse est analogue au front d'un système complexe, technique et socio-technique, avec ses nombreux composants en constante variation, et qui avance de manière irrégulière. Un front atmosphérique aurait pu aussi servir de métaphore, mais non pas « goulot d'étranglement » ni « trajectoire », car ces deux expressions évoquent la rigidité plutôt que la flexibilité.

Elmer Sperry, un inventeur contemporain d'Edison, a présenté une définition du saillant rentrant dans un système technique (« le point le plus faible ») :

J'ai beau y réfléchir, je ne me souviens d'aucun moment, au cours de mon travail, où j'ai eu le sentiment d'exécuter quelque action que ce soit qu'on attribue habituellement aux inventeurs. Aussi loin que porte ma mémoire, je me suis heurté à des situations qui paraissaient requérir mon intervention. D'habitude, je n'étais pas sûr du tout d'être en mesure d'améliorer l'état des choses d'aucune manière, mais j'étais fasciné par le défi. Je me mettais alors à étudier la question à fond. Je demandais à mes assistants de m'apporter tout ce qui avait été publié là-dessus, y compris les brevets qui tentaient d'améliorer la situation. Quand j'avais les faits devant moi, je faisais simplement la chose évidente. J'essayais de discerner le point le plus faible et de le renforcer<sup>7</sup>.

Les concepts de systèmes en évolution et de saillants rentrants qui émergent offrent un modèle plus dynamique que celui de Thomas Kuhn de

7. Elmer SPERRY, « Spirit of Invention in an Industrial Civilization », dans Charles A. BEARD éd., *Toward Civilization*, New York, Longmans Green, 1930, p. 63.

paradigme présentant des anomalies, qui a exercé une grande influence<sup>8</sup>. Dans sa discussion du passage du paradigme de Ptolémée au paradigme de Copernic, Kuhn écrit :

Le passage d'un paradigme en état de crise à un nouveau paradigme d'où puisse naître une nouvelle tradition de science normale est loin d'être un processus cumulatif réalisable à partir de variantes ou d'extensions de l'ancien paradigme. C'est plutôt une reconstruction de tout un nouveau secteur sur de nouveaux fondements, reconstruction qui change certaines des généralisations théoriques les plus élémentaires de ce secteur et aussi nombre des méthodes et applications du paradigme<sup>9</sup>.

Ensuite, Kuhn compare un changement complet de paradigme à un basculement de forme (*switch of a « Gestalt »*). Bien que Kuhn fasse référence à une transition, ceci est un langage de changement discret. De fortes discontinuités — un changement de *Gestalt* — caractérisent ce modèle de paradigme. En revanche, la continuité du changement est la marque du modèle systémique du saillant rentrant. Sperry et les autres inventeurs n'abandonnent pas une « situation », comme les scientifiques le font d'un paradigme. Les inventeurs et les constructeurs de système tentent « de discerner le point le plus faible et de le renforcer ». A la différence des paradigmes, les systèmes évoluent.

### ***L'inventeur comme créateur et comme bâtisseur de système***

Une conception de l'histoire comme systèmes en évolution est particulièrement productive dans l'analyse et l'écriture de l'histoire de l'activité créatrice et singulièrement de celle des inventeurs. Ces derniers orientent leurs efforts de façon répétée sur la correction de saillants rentrants dans les systèmes techniques en formation et ensuite en évolution. Eux aussi fonctionnent comme bâtisseurs de systèmes.

Les historiens professionnels abandonnent le problème de la compréhension de l'activité créatrice aux écrivains professionnels et aux auteurs de livres pour enfants. Il s'ensuit que les biographies des inventeurs indépendants banalisent le plus souvent leur créativité en leur attribuant l'ineffable qualité de génie et en leur conférant une étoffe de héros. On trouve des études savantes de scientifiques, d'artistes et d'architectes, mais rarement sur les méthodes et sur le style des inventeurs.

Il en résulte que de nombreuses périodes historiques où s'est manifestée une magnifique créativité restent largement inexplorées. Ainsi, comme les historiens professionnels n'ont pas étudié systématiquement l'âge d'or pour

8. Thomas P. HUGHES, « The Dynamics of Technological Change: Salients, Critical Problems, and Industrial Revolutions », *Technology and Enterprise in Historical Perspective*, Giovanni DOSI, Renato GIANNETTI et Pier Angelo TONINELLI éds, Oxford, Clarendon Press, 1992, pp. 97-118.

9. Tomas KUHN, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1972 (trad. anonyme de l'édition de 1970), pp. 107-108.

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

les inventeurs indépendants qui s'est étendu environ de 1870 à 1910, la genèse de la seconde révolution industrielle, la montée des États-Unis vers la prédominance industrielle et les origines d'une culture moderne fondée sur la technique continuent d'être insuffisamment comprises. Vers le tournant du siècle, les inventeurs indépendants américains ont déployé une ingéniosité, une énergie et une clarté de vue comparables à celles des ingénieurs-architectes de la Renaissance italienne. Les historiens ne devraient pas plus négliger les inventeurs qu'ils ne le font des ingénieurs-architectes.

Les activités des inventeurs sont suffisamment complexes et pleines de sens pour défier l'énergie et la compétence des historiens. Les inventeurs indépendants ont inventé les appareils et les procédés qui ont lancé le téléphone, l'énergie électrique, la radio, l'aviation, la cybernétique, l'automobile et les systèmes pétrochimiques qui structurent aujourd'hui notre monde matériel. Contrairement à l'opinion courante, ces systèmes techniques ne trouvent pas leur origine dans les laboratoires de recherche industrielle des grandes compagnies. Ils n'ont pas surgi de l'application de la science pure à des problèmes pratiques. Ils proviennent des ateliers et des laboratoires des chercheurs indépendants.

Ces inventeurs donnaient grand prix à leur indépendance, mais contrairement à ce que l'on croit couramment, ils n'étaient pas isolés. Habituellement, ils dirigeaient un petit atelier ou un laboratoire peuplé d'ouvriers très qualifiés, parmi lesquels les constructeurs de maquettes bénéficiaient d'un statut très élevé car ils traduisaient les dessins des inventeurs en dispositifs matériels qui pouvaient être testés comme prototypes. Les inventeurs indépendants avaient choisi de mener une vie d'invention tout en étant dégagés des structures organisées, sauf quand ils les avaient conçues eux-mêmes. Ils différaient de la sorte des chercheurs industriels de la génération suivante qui ont poursuivi leur activité d'invention au sein des laboratoires de grandes entreprises industrielles. Ils rassemblaient eux-mêmes les capitaux dont ils avaient besoin et jouaient habituellement le rôle d'inventeur-entrepreneur, présidant au processus tout entier de construction du système depuis l'invention jusqu'à la mise en œuvre.

Ayant eu l'expérience stimulante et exigeante d'écrire la biographie d'Elmer Sperry, un remarquable inventeur indépendant qui a prospéré aux États-Unis entre 1880 et 1920 environ, j'ai acquis quelque lumière sur l'inventeur indépendant comme constructeur de système<sup>10</sup>. Moins connu que son contemporain Edison, Sperry exigeait en fait plus de respect que lui de la part de ses pairs. Il fut élu à la National Academy of Science avant Edison. A la différence de ce dernier, il n'est jamais passé de l'invention finement ciblée de dispositifs de précision à la production d'objets industriels à grande échelle. Il a pris plus de 350 brevets durant sa vie. Il a aidé à la création d'une demi-douzaine d'entreprises industrielles reposant sur eux et présidé au développement d'instruments de contrôle automatique

10. Thomas P. HUGHES, *Elmer Sperry: Inventor and Engineer*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1971, 348 p.

d'une importance cruciale, parmi lesquels des dispositifs cybernétiques comme les pilotes automatiques de bateaux et d'avions. Il a opéré l'introduction du gyrocompas et de systèmes connexes dans les marines de guerre américaine et britannique durant la première guerre mondiale et peu après dans la marine japonaise, ce qui le range parmi les initiateurs du complexe de recherche-développement militaro-industriel que l'on connaît actuellement.

En m'appuyant sur ma connaissance des activités d'inventeur de Sperry, j'ai formulé des hypothèses de caractère général sur les méthodes et le style d'invention des indépendants. L'une de ces généralisations est le concept explicatif fondamental de « constructeur de système ». Plus tard, j'ai testé ces hypothèses générales en travaillant sur les vies d'inventeurs contemporains parmi lesquels Edison, Nikola Tesla, Wilbur et Orville Wright, Alexandre Graham Bell, Reginald Fessenden, Lee de Forest, Charles M. Hall, Edward Goodrich Acheson, Edwin Armstrong, Eugène Jules Houdry et d'autres encore<sup>11</sup>.

L'achat de brevets et l'acquisition de licence figurent au premier rang de la méthodologie des inventeurs indépendants. Traditionnellement, les historiens considèrent l'analyse des brevets comme une manière pour les inventeurs d'établir des droits de propriété. Or ils y recourent aussi pour d'autres raisons, ce qui est rarement soulevé. Les inventeurs professionnels pratiquent l'étude minutieuse des schémas de la prise de brevet pour délimiter des secteurs où se situent les problèmes susceptibles d'être résolus par l'invention. Adolescent, Sperry a appris à se servir de ces schémas de brevetage, ou sectorisation des brevets (*patent clustering*), pour identifier les problèmes saillants à résoudre. A peu près chaque semaine, il allait à la bibliothèque de sa petite ville de Cortland, dans l'État de New York, pour lire la *Patent Office Gazette*, une publication gouvernementale qui publiait régulièrement les listes et les résumés des brevets délivrés. C'est à partir de là que le jeune Sperry découvrait les problèmes — les saillants rentrants — que les autres inventeurs jugeaient dignes d'attention.

Tout spécialement intéressé par l'éclairage électrique qui était une technique de pointe en 1880, Sperry a recherché un secteur à brevets dans ce périmètre. Il a par exemple découvert qu'un nombre disproportionné de brevets décrivaient des dispositifs destinés à contrôler automatiquement la production d'énergie par des générateurs électriques et l'alimentation des carbones pour les arcs électriques : il a alors inventé sa variante des contrôles automatiques. Ce faisant, il apportait une correction à un saillant rentrant dans les systèmes d'éclairage à arc. Plus doué en méthodologie de l'invention qu'on ne l'est à son âge, il savait que des variations sur un thème général pouvaient être brevetées. Il avait compris que de nombreuses voies brevetables existaient pour résoudre fondamentalement le même problème — c'est-à-dire pour corriger un saillant rentrant. Tout au long de sa carrière, il s'est tenu au courant des grands traits de brevetage dans les zones de ses

11. Thomas P. HUGHES, *American Genesis. A Century of Invention and Technological Enthusiasm*, New York, Viking, 1989, 529 p.

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

compétences et de sa curiosité. Après s'être fait reconnaître comme inventeur couronné de succès et s'être assuré une place dans un réseau d'inventeurs, d'ingénieurs et d'industriels, il s'informait sur les saillants rentrants par d'autres sources encore, comme les contacts personnels, les communications à des rencontres professionnelles et la lecture des revues techniques.

Sachant que les inventeurs indépendants s'insèrent eux-mêmes dans des réseaux d'information et se tiennent de la sorte au courant des activités des autres, la simultanéité des inventions ne devrait pas nous étonner. Dans le monde industriel, plusieurs inventeurs ont inventé le gyrocompas à peu près au même moment que Sperry. Au moins trois inventeurs ont breveté des machines à courant alternatif à peu près au même moment que Nikola Tesla<sup>12</sup>. C'est le moment d'insister sur le fait que Sperry, au cours de sa longue et productive carrière, n'a pas inventé à proprement parler d'éclairage à arc, de dynamos, de voitures électriques, de gyrocompas ni de stabilisateurs d'avions, comme les ouvrages de vulgarisation le prétendent. Ce qu'il a inventé, ce sont des améliorations critiques qui ont corrigé des saillants rentrants dans ces dispositifs et dans d'autres encore. Ce n'est pas non plus Edison qui a inventé la lampe à incandescence, ni Graham Bell le téléphone, ni Marconi la radio sans fil : ils ont eux aussi inventé des améliorations pratiques et rentables au sein de ces dispositifs.

Nous avons observé plus haut que les inventeurs indépendants prisaient beaucoup leur indépendance. Dans la mesure où nous vivons à une époque où le rattachement à des grandes organisations est la règle, nous devrions nous demander pourquoi les inventeurs ont choisi la liberté. Une remarque de Sperry suggère une réponse :

Si je passe une vie entière sur une dynamo, je peux probablement faire mes petites contributions à l'augmentation de 6 ou 7 % du rendement de cette machine. Bon, mais il y a toute une série de techniques auxquelles l'électricité donnerait 400 ou 500 % : laissez-moi m'attaquer à l'une d'elles<sup>13</sup>.

Sperry ainsi que les autres inventeurs indépendants trouvaient plaisir à faire des inventions radicales et non pas des inventions adaptatives (*conservative inventions*). Leurs inventions radicales ont créé les systèmes techniques qui, ensemble, ont formé la seconde révolution industrielle. Les ingénieurs et les scientifiques qui travaillent dans les laboratoires de recherche industrielle font habituellement des inventions adaptatives, celles qui introduisent des améliorations marginales (*incremental*) (les « 6 ou 7 % »), dans les systèmes techniques dont les firmes qui payent les salaires

12. En 1887, un certain nombre d'inventeurs ont concentré leur activité sur l'invention d'un système alternatif ou polyphasé avec générateur et moteur. On trouvait parmi eux un inventeur serbo-américain, Nikola Tesla, un Allemand, Friedrich Haselwander, un Américain, C. S. Bradley, et un Suédois, Jonas Wenström.

13. Elmer SPERRY, « Address to Brooklyn YMCA », 1922, Sperry Papers, Eleutherian Hagley Library, Wilmington (Delaware).

des spécialistes pilotent le développement. Des changements incrémentaux, comme une amélioration du filament de la lampe à incandescence, peuvent certes rapporter d'énormes profits à un fabricant de matériel électrique, mais l'invention reste malgré tout adaptative. Libres de toute contrainte organisationnelle, les indépendants préfèrent en revanche les inventions de rupture (« 400 ou 500 % »). En se concentrant sur des sujets de ce genre, ils évitent la compétition avec les inventeurs industriels, compétents et bien financés. Durant le dernier demi-siècle, approximativement, des scientifiques et des ingénieurs universitaires ont souvent été des inventeurs radicaux, ceci parce que leurs universités les autorisaient généralement à choisir leurs propres problèmes et à identifier des saillants rentrants dans des systèmes non encore commercialisés.

Dès lors que beaucoup d'inventeurs indépendants attachent une grande valeur à leur liberté envers les contraintes d'organisation, comment gagnent-ils leur vie et financent-ils leurs projets ? Encore une fois, ce sont les brevets qui fournissent l'explication. Ces inventeurs utilisent communément leurs brevets comme capital. Le mode habituel consiste pour un inventeur à joindre ses brevets à l'argent de financeurs pour établir une société qui fabrique et commercialise l'invention en question. L'inventeur peut recevoir jusqu'à 30 % des actions d'une société à responsabilité limitée en rétribution de ses brevets. Si la société est rentable, l'inventeur en profite. Il réinvestit alors les revenus qu'il retire d'une entreprise dans une nouvelle. Notons que l'historien ne peut que se réjouir de ce que l'activité de l'esprit puisse être capitalisée par les inventeurs indépendants — sinon par les universitaires.

Les indépendants peuvent naviguer librement à la recherche de problèmes, mais ceux qui réussissent le mieux se rendent compte que la parfaite liberté implique l'acceptation de contraintes du réel. Les plus expérimentés choisissent leurs propres problèmes mais, fait caractéristique, ils se cantonnent à ceux qui émergent comme saillants rentrants dans des systèmes à l'état naissant. Avec sagesse, ils évitent soigneusement les saillants rentrants des systèmes mûrs auxquels président de grandes firmes : ils se concentrent sur ceux des systèmes qui commencent à prendre forme. Sperry, par exemple, a choisi d'inventer dans des champs industriels en formation puis il a quitté ces champs au cours de leur développement rapide après cinq ans environ pour entrer dans des champs nouveaux et moins capitalistiques. Ainsi est-il entré dans l'éclairage électrique en 1880 et l'a-t-il quitté en 1885. Seuls les inventeurs indépendants naïfs tentent d'inventer des systèmes nouveaux : car ce sont des confluences qui provoquent la naissance de systèmes, comme ce sont des confluences qui sont à l'origine des révolutions industrielles et des guerres.

La décision de Sperry en 1907 d'apporter des améliorations dans le gyrocompas fournit un cas classique d'un indépendant qui choisit astucieusement un saillant rentrant dans un système en train d'émerger, ici un système de guidage et de contrôle. Pour comprendre le choix de problème qu'il a opéré, il faut concevoir le navire lui-même comme un système en évolution. Au milieu du 19<sup>e</sup> siècle, la plupart des bateaux avaient des coques

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

en bois et se déplaçaient à la voile. Dès la fin du siècle, les navires à vapeur à coque métallique sont devenus courants, particulièrement dans les marines des nations industrialisées. Or, en délaissant le bois et la voile, les composants coque et propulsion du navire considérés comme un système ont fait du guidage, autrement dit du compas magnétique, un saillant rentrant. Un compas magnétique fonctionne en effet médiocrement dans un bateau à coque métallique parce que la coque est magnétisée par les forces électromagnétiques du globe terrestre. Le compas a du mal à distinguer entre le nord magnétique et l'aimantation du bateau. Après avoir détecté ce saillant rentrant, Sperry et d'autres inventèrent des gyrocompas améliorés dont le principe de base avait été décrit par Léon Foucault en 1852 : c'étaient des compas dépendant de la rotation de la terre et non plus de son magnétisme, d'où la correction du saillant rentrant dans le système navire métallique à vapeur.

Après avoir considéré la méthodologie des inventeurs indépendants, nous pouvons nous demander si leur créativité ressemble à celle d'autres individus créateurs comme les artistes, les musiciens ou les architectes. Je me suis intéressé à cette question grâce à une comparaison entre Sperry et son contemporain, Adrian Leverkühn, un compositeur allemand de fiction, qui devint fou à la fin de sa vie du fait de sa syphilis<sup>14</sup>. Leverkühn est le personnage principal du roman *Le Docteur Faustus*, dans lequel Thomas Mann explore la nature de la créativité — la sienne et celle de Leverkühn. En résumant de façon brève et dramatique, j'ai supposé que, s'il existe des parallèles entre l'inventeur américain inflexible Sperry et le compositeur de fiction profondément allemand et faustien Leverkühn, alors la créativité transcende les catégories professionnelles.

J'ai cherché et j'ai trouvé des similitudes dans leurs vies. Sperry a grandi dans une petite ferme dans l'ouest de l'État de New York, Leverkühn dans une ferme de l'Allemagne orientale près de Kaisersaschern. Les deux jeunes hommes ont jugé leur environnement rural oppressant, Sperry à cause du travail agricole éreintant qu'il devait accomplir dans la chaleur suffocante de l'été et le froid glacial de l'hiver, Leverkühn à cause de l'ennui intellectuel et des traditions déprimantes d'une communauté rurale conservatrice. Les deux hommes ont cherché tôt dans leur vie à trouver ou à créer des environnements plus agréables et qui soient d'un plus grand soutien à leurs esprits en quête.

Éduqué dans une petite ferme, le jeune Sperry, chargé de lourdes corvées dans les manifestations météorologiques les plus extrêmes, a bien accueilli les machines qui épargnaient le travail manuel offertes par la technique. Se sentant accablé par les forces imprévisibles et incontrôlables de la nature, il s'imaginait en inventeur et en ingénieur qui ferait usage de la technique pour maîtriser et diriger les forces naturelles en accord avec ses besoins et ceux des autres. Vivre dans un monde construit par l'homme lui paraissait

14. Thomas P. HUGHES, « Elmer Sperry and Adrian Leverkühn: A Comparison of Creative Styles », *Spring of Scientific Creativity*, R. ARIS, H. HARIS et R. STUEWER éds, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1983, pp. 188-202.

plus désirable que dans le monde de la nature. Il cherchait à se réaliser dans un monde de son propre fait : un monde peuplé de machines, dont il en aurait inventé quelques-unes.

Leverkühn, grandissant dans le monde moralement suffocant de l'Allemagne rurale, croyait également qu'il pourrait s'échapper dans un monde créé par lui, un monde de musique, dont il aurait composé une part. Sperry s'est installé dans les villes en industrialisation rapide de Chicago, Cleveland puis New York pour chercher les ressources animées et inanimées dont il avait besoin pour créer un environnement mécanisé. Mann a déplacé Leverkühn vers Leipzig, Dresde et Munich pour qu'il y trouve un environnement doté de riches ressources intellectuelles et spirituelles. Ils bénéficiaient tous les deux d'une indépendance financière qui leur permettait d'être des créateurs radicaux : Sperry profitait des revenus de ses brevets, Leverkühn de ceux de ses parents.

En soulignant le contraste entre la campagne et la ville, nous mettons en valeur un thème qui court à travers l'histoire des sociétés en industrialisation, particulièrement l'Allemagne et les États-Unis, dans le dernier 19<sup>e</sup> siècle et le premier 20<sup>e</sup>. Les techniques de la seconde révolution industrielle ont transformé des villes comme Chicago et Berlin en métropoles modernes et intenses en techniques, extrêmement attrayantes pour les intellectuels, les artistes, les inventeurs et les industriels<sup>15</sup>. Dans un manifeste de 1926, *Die neue Welt*, Hannes Meyer, un architecte de gauche qui avait succédé à Gropius à la tête du Bauhaus en 1927, a dressé avec enthousiasme le portrait de la victoire des humains pensants sur la nature amorphe, une victoire qui se manifestait précisément dans un environnement urbain et fabriqué par l'homme. Il chante une ode à la mécanisation qui aide à comprendre l'attraction magnétique qui a attiré Sperry et Leverkühn vers la métropole moderne :

A Paris, Berlin, New York et Londres, les Ford et les Rolls-Royce créent le *fortissimo* de la dynamique des grandes cités, les panneaux aux signes électriques et les fenêtres des grands magasins éclairés à l'électricité étincellent joyeusement et les haut-parleurs remplissent l'air de leurs arguments et de leurs tentations. Les avions Fokker et Farman qui volent haut au-dessus des têtes ignorent les frontières urbaines et nationales, libèrent les esprits des limites terrestres et rassemblent les peuples disparates en une même communauté. Les tracteurs Fordson et les machines agricoles von Meyenburg réorganisent l'agriculture, les machines à calculer Burroughs « libèrent nos cerveaux », les radios, les câbles et les appareils de téléphotographie triomphent du provincialisme et établissent une communauté mondiale<sup>16</sup>.

15. Thomas P. HUGHES, « The City as Creator and Creation », dans *Berlin-New York: Like and Unlike. Essays on Architecture and Art from 1870 to the Present*, Joseph Paul KLEIHUES et Christina RATHGEBER éds, New York, Rizzoli, 1993, pp. 12-31.

16. Hannes MEYER, « Die neue Welt », *Das Werk*, 1926, pp. 205-224, réédité dans *Bauhaus-Archiv, Berlin, Hannes Meyer, 1889-1954 : Architekt Urbanist Lehrer*, Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn, 1989, pp. 70-73.

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

Sperry et Leverkühn désiraient tous les deux ordonner un environnement construit par l'homme. L'inventeur indépendant tout comme le compositeur créé par Mann (*Mann-created composer*) cherchaient à extraire l'ordre du chaos, une aspiration liée à la culture occidentale depuis le Moyen Age où les penseurs religieux affirmaient que les humains marqués par le péché originel avaient la possibilité de regagner le paradis perdu en usant de raison et de technique. Lorsqu'il inventait des systèmes comportant des contrôles automatiques, Sperry se voyait lui-même comme apprivoisant des machines « sauvages ». Leverkühn aspirait aussi à créer des systèmes qui apportent de l'ordre. Il confia à un ami : « Nous aurions besoin d'un maître qui nous impose un système ». « Et un jour [la liberté] se lasse d'elle-même, l'instant vient où elle désespère de sa faculté créatrice et cherche abri et sécurité dans l'objectif [...]. Elle apprend très vite à se connaître dans la captivité, elle s'accomplit en se pliant à l'ordre, à la loi, à la contrainte, au système »<sup>17</sup>.

Influencé par le style de composition d'Arnold Schönberg, Mann fait composer à Leverkühn une musique qui rappelle sa musique serielle, atonale. « Aucun [ton] n'aurait le droit de se présenter, qui ne remplît sa fonction de motif dans la construction générale ». Il organise ses compositions de manière rationnelle, comme le remarque un ami, afin d'obtenir « une extraordinaire unité logique, une sorte d'inaffabilité et de précision astronomiques »<sup>18</sup>.

Les aspirations de Sperry et de Leverkühn à remplacer le naturel par des créations humaines et leur désir partagé d'ordonner systématiquement ce monde créé par l'homme suggèrent une caractéristique fondamentale des efforts de création à l'époque du moderne. Des sociétés, comme celles d'Allemagne et des États-Unis, dans lesquelles proliféraient les machines, ont adopté les métaphores de la machine et les ont utilisées dans un effort pour comprendre et maîtriser les environnements physique et intellectuel. Les métaphores techniques, exprimant des valeurs techniques telles que système, contrôle et ordre, sont devenues communes. À une époque où l'on se référait à la biomécanique et aux « mécanismes » de domination, où les peintres futuristes utilisaient sans réserve dans leurs œuvres une imagerie machinique et où Le Corbusier évoquait sa machine à habiter, doit-on être surpris de trouver Sperry et Leverkühn inventer et composer en suivant des voies de rationalité, d'ordre et de contrôle ?

### ***Inventeurs collectifs et constructeurs de systèmes***

J'en viens maintenant à mon travail plus récent. Il prolonge ma recherche sur la création, mais il traite désormais une création manifestée dans des projets culminant, depuis la seconde guerre mondiale, dans des systèmes socio-techniques extrêmement complexes. Ces projets sont gouvernés par

17. Thomas MANN, *Le Docteur Faustus. La vie du compositeur allemand Adrian Leverkühn racontée par un ami*, trad. par Louise Servicen, Paris, Le Livre de Poche, 1996, pp. 261-262.

18. *Ibid.*, p. 264.

des inventeurs collectifs et des bâtisseurs de systèmes qui créent — ou, pour parler comme aujourd’hui, « conçoivent, cherchent et développent » — des systèmes socio-techniques beaucoup plus vastes et plus complexes que ceux qu’inventaient et développaient leurs prédecesseurs individuels comme Edison et Sperry.

A cause de la complexité et de la taille des projets d’après-guerre, la seule gestion des phases de conception, de recherche et de développement est devenue une épreuve aussi grande que la résolution des problèmes techniques eux-mêmes. Écrire l’histoire de la création de ces systèmes gigantesques présente à l’historien des défis méthodologiques comparables à ceux auxquels font face les ingénieurs, les scientifiques et les managers qui créent ces grands systèmes complexes. Comme eux, je distingue soigneusement les systèmes eux-mêmes (de transport, de communication, d’énergie, d’armes et autres) et les projets par lesquels ils sont créés. Quelques-uns des projets les plus grands et les plus complexes d’après-guerre sont la conception-recherche-développement de systèmes d’armes. On compte parmi eux le projet des années 1950 pour créer le système opérationnel de la Flotte de Missiles balistiques (FMB). C’est cette création que je vais décrire brièvement dans la mesure où elle est représentative de mon travail récent sur les systèmes socio-techniques.

La complexité et les ressources engagées dans la création de la FMB sont comparables à ceux du projet Manhattan qui a produit les bombes atomiques pendant la guerre. La description historienne d’un tel projet est d’un ordre de grandeur complètement différent de celle du système d’éclairage électrique d’Edison, par exemple. On ne peut saisir la création de la FMB simplement à travers un bâtisseur individuel de système à la tête d’une structure pyramidale ni une firme unique qui fournit le cadre organisationnel. La conception-recherche-développement de la FMB suppose la création, coordonnée par de nombreux sous-traitants, d’un grand nombre de composants et de sous-systèmes.

La gestion de la conception-recherche-développement d’un système d’armes comme la FMB diffère également du type de gestion qu’Alfred Chandler identifie et analyse dans ses ouvrages fondamentaux<sup>19</sup>. Ses livres décrivent la gestion de systèmes de production en fonctionnement, mais non pas leur création. Les systèmes que Chandler dessine ne comportent pas autant de recherche-développement que le projet FMB. Il ne s’intéresse pas au management de projet, mais au management des systèmes de production une fois créés par les projets. Aujourd’hui, le management de projet

19. Alfred D. CHANDLER, Jr., *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*, Cambridge, Belknap Press of Harvard University Press, 1990, 800 p. (*Organisation et performance des entreprises*, trad. par Jean-Michel Behar, Paris, Les Éditions d’organisation, t. 1, *Les USA, 1880-1948*, 1992, 429 p., t. 2, *La Grande-Bretagne, 1880-1948*, 1993, 302 p., t. 3, *L’Allemagne, 1880-1939*, 1993, 412 p.) et Alfred D. CHANDLER, Jr., *The Visible Hand. The Managerial Revolution in American Business*, Cambridge, Ma., Belknap Press of Harvard University Press, 1977, 608 p. (*La main visible des managers. Une analyse historique*, trad. par Frédéric Langer, Paris, Economica, 1988, 635 p.).

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

est devenu paradigmatic, particulièrement dans l'industrie hautement compétitive de l'information et de l'informatique<sup>20</sup>.

La création du système global de FMB a entraîné la formation de toute une série de systèmes partiels semi-autonomes, comprenant un missile balistique de moyenne portée (2 500 miles), un sous-marin atomique spécialement conçu, un lanceur de missiles et un système de contrôle de tir embarqué sur mer. Ces systèmes, à leur tour, consistent en de nombreux sous-systèmes. Le missile balistique, nommé Polaris à cause de l'étoile polaire, comprenait, par exemple, le véhicule de rentrée du missile, l'unité de propulsion, l'unité de guidage et le module d'équipement. Des composants innombrables entraient dans la formation de ces sous-systèmes. L'organisation du projet, répartie en un très grand nombre de tâches, reflétait l'organisation du système lui-même.

L'US Navy a créé le Bureau des Projets spéciaux (Special Projects Office), nouvelle organisation ayant pour fonction d'être un constructeur de système collectif. Ces constructeurs de système sont maintenant aussi désignés par les termes d'« ingénieurs-système », de « gestionnaires de programme », de « gestionnaires de projet », mais je préfère celui plus générique de « constructeurs de système ». Les grands projets ont souvent été, depuis la seconde guerre mondiale, gouvernés par des organisations *ad hoc* dont on attend qu'elles surmontent la lourde inertie et la résistance à l'innovation des organisations bureaucratiques établies de longue date.

Quand le projet a démarré en 1955, le Bureau des Projets spéciaux (BPS) était composé d'un personnel interdisciplinaire de près de quarante officiers et civils sélectionnés dans divers anciens départements de la Marine. Le BPS rassemblait ainsi la crème du personnel et possédait un sens élevé de sa mission et une morale élitiste. Avec divers consultants venant de nombreuses entreprises aéronautiques et d'universités, ce personnel a formé un comité de pilotage ayant pour objectif de fournir un plan préliminaire pour la FMB et de continuer à conseiller le BPS au fur et à mesure du développement du projet.

Le BPS coordonnait les activités d'un grand nombre de constructeurs aéronautiques, électroniques et d'instruments de haute technologie et d'universités qui fonctionnaient tous comme sous-traitants. Les départements de grandes entreprises aéronautiques avaient la responsabilité de tâches partielles. Lockheed (Lockheed Missile and Space Corporation) est devenu le premier contractant pour le missile Polaris. Westinghouse était responsable du lanceur. Le Massachusetts Institute of Technology a pris la recherche-développement des systèmes de guidage. Enfin, le Bureau des Navires de la Marine avait la haute main sur les sous-marins et leur propulsion. A l'étage inférieur, la recherche-développement des sous-systèmes du missile Polaris était assurée par d'autres organisations. En fin de compte, vers 1958,

20. Voir les livres sur les projets en informatique et information de Tracy KIDDER, *The Soul of a New Machine*, New York, Avon Books, 1990 et de Gregg Pascal ZACHARY, *Showstopper*, New York, Free Press, 1994.

ce sont 3000 contractants et agences gouvernementales qui étaient impliqués dans le projet FMB<sup>21</sup>.

Les besoins en recherche-développement ont considérablement augmenté la complexité de la gestion du projet du fait de la difficulté de prévoir les dates finales des différents travaux. Quand les composants peuvent être simplement « pris sur l'étagère », un constructeur de système peut programmer avec une certaine précision le moment où le composant sera disponible sur le site de montage. Si au contraire les composants doivent être entièrement conçus et passer par un processus de recherche-développement jusqu'au stade du prototype, alors le constructeur de système peut au mieux prévoir une date probable pour la mise à disposition.

Quand la conception d'un composant dépend de la disponibilité d'un autre et que les deux doivent passer par tout le circuit de recherche-développement, la programmation et la coordination deviennent extrêmement complexes. Par exemple, la conception du système de propulsion d'un missile dépend de la détermination préalable du poids du véhicule de rentrée muni de sa tête nucléaire qui requièrent tous deux beaucoup de recherche et de développement.

Sous la pression de la guerre froide qui exigeait de gagner du temps, les constructeurs de système réclamaient souvent que les composants soient conçus et développés simultanément plutôt que séquentiellement, sauf bien sûr quand certains éléments devaient impérativement être conçus en amont d'autres. Ils programmaient aussi le développement des composants de telle sorte qu'ils ne soient pas prêts avant le moment de leur utilisation. Cette « concourance », comme on dit dans le langage des gestionnaires, fournit un exemple des systèmes qui évoluent en synchronie plutôt qu'en diachronie.

Afin de coordonner les tâches innombrables associées à la construction des installations pour fabriquer les prototypes de la FMB et leurs versions opérationnelles, le BPS a demandé aux contractants de l'informer régulièrement sur la marche des travaux. Il a établi un Centre de Contrôle de Gestion (Management Control Center) pour déployer et analyser la masse d'informations qui arrivait. Les informations affichées sous forme de graphiques, avec des couleurs codées, couvraient les murs du Centre de Contrôle de Gestion. Le rouge, évidemment, indiquait que la recherche-développement ne progressait pas de façon satisfaisante. A partir de ces représentations, les dirigeants des diverses sections du BPS — sections qui correspondaient aux systèmes et sous-systèmes de la FMB — identifiaient les problèmes critiques, donc les saillants rentrants, qui devaient être traités pour que le projet avance.

Or, vers 1957, le Bureau des Projets spéciaux a commencé à sentir qu'il était débordé par l'information qui arrivait. La coordination et le contrôle se révélaient extrêmement difficiles à maîtriser. Alors l'amiral Raborn et

21. Glenn E. BUGOS, « Programming the American Aerospace Industry, 1954-1964: The Business Structures and the Technical Transactions », *The Journal of the Business Studies Ryukoku University*, n° 35, juin 1995, pp. 65-76.

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

ses associés se sont tournés vers le *soft* et le *hard* d'avant-garde — autrement dit la recherche opérationnelle et l'ordinateur. Ils ont demandé à Booz, Allen & Hamilton, une entreprise de gestion avec une expérience en recherche opérationnelle et des capacités informatiques, de nouvelles approches des problèmes de coordination et de programmation. Une équipe de cette société, avec des représentants de la Navy et de Lockheed, ont en l'espace de quelques mois proposé le PERT (Program Evaluation Review Technique). Le PERT a fait une très forte impression sur les contemporains et a marqué durablement les pratiques de gestion<sup>22</sup>. Incidemment, le PERT fournit aussi aux historiens un modèle pour la description de l'évolution des systèmes, un modèle remarquablement semblable — mais en plus complexe — au modèle du saillant rentrant décrit plus haut. Le PERT donne en effet une représentation graphique des interactions synchroniques et du développement diachronique d'un projet complexe.

Le PERT est le portrait graphique d'un diagramme de flux, ou encore d'un diagramme de réseau dynamique, sur une sortie d'imprimante. Le diagramme effectue la représentation d'un projet de conception-recherche-développement saisi dans le cours de son évolution. Le développement des systèmes et sous-systèmes techniques qui constituent en fin de compte le système complet de FMB sont figurés dans le schéma conceptuel du PERT par des parallèles synchroniques. Une série d'« opérations » parallèles aboutissent diachroniquement à une série d'« étapes ». Les opérations désignent la poursuite des tâches de conception-recherche-développement. L'achèvement d'une action en concrétise une « étape »<sup>23</sup>. Comme je l'ai suggéré, si une phase dans une opération ne peut être achevée avant qu'une phase dans une autre le soit, cette contrainte doit être prise en compte. Les opérations figurent dans les tableaux de PERT sous la forme de flèches — dont la longueur indique la durée — qui connectent des étapes ordonnées en séquence et figurées par des cercles (voir figure 1).

Le PERT facilitait aussi l'identification d'un « chemin critique ». Pour établir ce chemin, les experts en PERT comparaient le « temps le plus probable » pour l'achèvement d'une opération et le « temps maximal » pour que cette opération soit terminée sans retarder l'accomplissement d'une étape importante. La différence entre le temps le plus probable et le temps maximal était nommé la marge (*slack*). S'il n'y avait aucune marge dans une opération, celle-ci tombait dans le chemin critique, ce qui voulait dire que si l'opération n'était pas achevée au moment attendu, des étapes critiques devraient être retardées. L'ordinateur traçait les chemins critiques des projets, qui sont analogues au concept de saillant rentrant. Au cours de réunions hebdomadaires, les membres du BPS et les contractants concernés concentraient leur attention sur les opérations qui ponctuaient le chemin critique.

22. Erick RAU, Polaris, mémoire inédit, université de Pennsylvanie, 1993.

23. D. G. MALCOLM, J. H. ROSEBOOM, C. E. CLARK et W. FAZAR, « Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation », *Operations Research*, n° 7, sept.-oct. 1959, pp. 646-669.

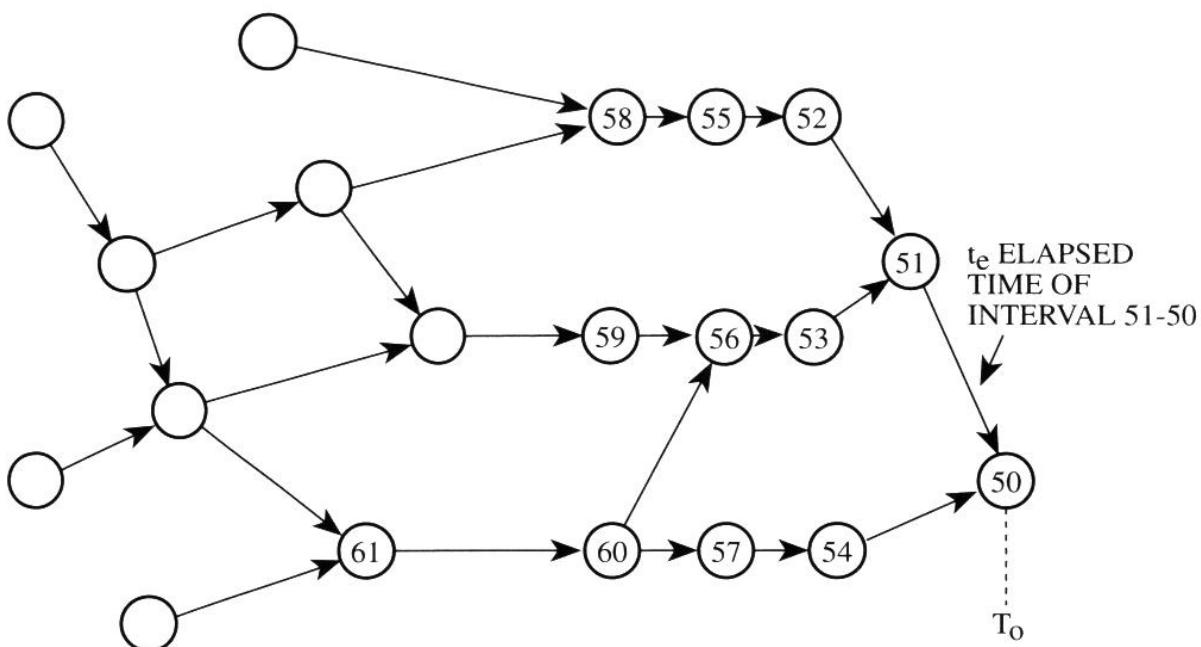


FIG. 1. — Les opérations énumérées et les étapes culminent dans un but final ( $T_0$ ) — l'achèvement du prototype d'un composant du système, par exemple. Les étapes sont montrées par les nombres entourés d'un cercle qui représentent la fin d'une *opération* (ou tâche) dans le processus de conception-recherche-développement. Les lignes qui connectent les cercles représentent les opérations. Les opérations doivent être effectuées dans l'ordre montré par l'énumération parce que l'une ne peut commencer avant que l'étape précédente ne soit accomplie. La section de diagramme de flux présentée et la numération sont une partie minuscule du diagramme directeur pour le projet de Flotte de Missiles balistiques qui avait plusieurs milliers d'étapes énumérées dans ses graphiques de réseaux compliqués. Le diagramme est extrait de : D. G. MALCOLM, J. H. ROSENBLUM, C. E. CLARK et W. FAZAR, « Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation », *Operations Research*, vol. 7, sept.-oct. 1959, p. 649.

En passant à un plus haut niveau de généralité, il faut noter que les opérations et les étapes des processus d'invention-conception-recherche-développement sont semblables aux séquences de problèmes critiques et de chemins critiques spécifiques des systèmes en évolution telles qu'elles sont présentées par le PERT<sup>24</sup>. Certaines opérations et certaines étapes peuvent être parfois expliquées séquentiellement, diachroniquement, mais l'explication requiert souvent une analyse du type PERT du développement en synchronie, en concurrence.

C'est la raison pour laquelle les historiens des techniques qui procèdent à la description des systèmes socio-techniques en évolution, et particulièrement de leur création, pourraient tracer le schéma de leur propre repré-

24. L'expression « systèmes en évolution » renvoie à la fois aux projets qui créent les systèmes et aux systèmes qui poursuivent leur développement après être devenus opérationnels. Les constructeurs de système président aux deux étapes.

## LES GRANDS SYSTÈMES TECHNIQUES

sentation, semblable aux diagrammes de flux ou diagrammes de réseaux du PERT. Ceux parmi les historiens qui ont une compétence en informatique pourraient tout à fait concevoir des modèles du cycle invention-conception-recherche-développement qui seraient des représentations graphiques de ce processus complexe et embrouillé.



En évoquant ces quelques dizaines d'années de lecture, de recherche et d'écriture en histoire des techniques, je m'aperçois que j'ai porté l'accent à la fois sur des questions techniques, scientifiques et de gestion. Au début, mon idée consistait à examiner un noyau technique qui conformait un contexte économique, politique et social. Assez vite pourtant, j'ai abandonné ce déterminisme technique mou pour adopter un concept d'interaction entre le noyau technique et un contexte composé de facteurs économiques, politiques et sociaux. C'est cette approche que j'ai mise en œuvre dans *Networks of Power* et dans ma biographie d'Elmer Sperry. Par exemple, j'ai établi que la sélection des problèmes par le jeune Sperry était façonnée par le grand courant de l'électrification, mais j'ai vu Sperry, mature, contribuer à former à son tour le développement élargi des techniques du contrôle par rétroaction. Cette transformation du modèle en modeleur est semblable à l'histoire des systèmes techniques où ceux-ci sont conformés par des facteurs économiques, politiques et sociaux mais où les grands systèmes socio-techniques incorporent ces facteurs. Dans l'exploration de ces interactions, l'historien des techniques fait face à un problème historiographique complexe, similaire à celui des autres historiens qui explorent les relations entre la volonté individuelle et le mouvement large des tendances historiques.

Plus récemment, dans *American Genesis*, j'ai considéré la technique comme une composante de la culture qui interagissait avec d'autres expressions culturelles aussi créatrices, telles l'art et l'architecture. J'y ai présenté une interprétation de l'époque moderne, s'étendant de 1870 à 1950, où les formes et les valeurs techniques fournissent le tissu conjonctif d'une culture fondée sur la technique. Le style international en architecture, qui s'est déployé pendant ces décennies, est un remarquable exemple d'une mode culturelle qui se fait l'expression de telles formes et valeurs techniques.

J'ai tenté d'écrire de manière accessible pour des historiens non-spécialistes et pour le public cultivé sur ces questions complexes des relations entre l'ingénierie, la science, le management et la culture, qui se rencontrent tous dans le style international, les techniques de la rétroaction ou le génie des systèmes. Je me suis efforcé de transformer en or ce que le grand public considère comme du plomb.

J'ai souvent eu recours pour ce faire à ceux-là qui, parmi les ingénieurs, scientifiques ou managers, forgent et utilisent des concepts à la fois profonds et interdisciplinaires. En fait, quelques techniciens seulement — dont Rattenau — ont une approche conceptuelle accompagnée d'une réelle facilité

dans l'expression verbale, alors que la plupart des professionnels ont tendance à s'exprimer de façon quantitative et visuelle. Dans les dernières années, mon approche conceptuelle a été influencée par la pensée de Simon Ramo, une pensée holiste qui reste toutefois très près des réalités. Il a écrit de manière très attachante sur son rôle dans la définition de techniques en génie des systèmes pour gérer la création des systèmes de production des premiers missiles balistiques intercontinentaux<sup>25</sup>.

Tout en regardant l'histoire culturelle des techniques comme un tissu sans couture de composants en interaction, je n'en ai pas moins privilégié dans mes interprétations les facteurs techniques, scientifiques et managériaux. La raison en est d'ordre pratique. Je crois que l'historien doit passer le chaos des événements et des idées à travers son crible interprétatif pour leur donner du sens. Or ce crible doit être structuré par la familiarité avec certains aspects de l'histoire et par un jugement équilibré sur le jeu mutuel entre les forces et les facteurs en interaction. Cet article a peut-être jeté quelque lumière sur le crible que j'ai, pour ma part, confectionné. C'est aux historiens sociaux, économiques et politiques de mettre judicieusement en valeur d'autres traits pour construire leur propre interprétation d'une réalité qui se présente comme un grand mélange culturel (*cultural mix*).

Thomas P. HUGHES  
*Université de Pennsylvanie*

Traduit par Yves Cohen

25. Simon RAMO, *The Business of Science: Winning and Losing in the High-Tech Age*, New York, Hill and Wang, 1988. Voir aussi mon *Rescuing Prometheus*, New York, Pantheon Books, à paraître.