

HISTOIRE

Le Zéro et le un¹, un travail d'historien sur la notion scientifique d'information

Marie-José Durand-Richard

Les discours médiatiques sur « la révolution informationnelle » ne cessent d'insister sur le rôle central de l'information et de la communication, qui caractériserait le passage au XXI^e siècle dans les sociétés modernes, via les nouvelles technologies. Effet de mode ou mutation profonde de nos représentations ? L'envahissement du « numérique » est tellement flagrant, et les restructurations qui accompagnent l'informatisation des entreprises tellement douloureuses qu'il est difficile d'acquiescer au recul indispensable pour apprécier l'ampleur véritable de ces transformations : elles affectent si profondément le vécu individuel et collectif qu'il peut être tentant d'y voir la naissance d'un nouveau paradigme. Un récent ouvrage de Jérôme Segal, *Le zéro et le un*, remarquablement documenté, nous offre les moyens d'un tel recul, et nous guide pas à pas dans les linéaments du travail scientifique et des questionnements qu'il fait naître et dont il se nourrit. Le panorama est impressionnant, alliant concision technique et clarté du propos, tandis qu'une bibliographie de 70 pages invite le lecteur curieux² à poursuivre l'enquête à travers textes scientifiques, fonds d'archives et sites Internet. Ce regard d'historien tranche avec les « histoires » par trop apologétiques de l'informatique ou des sciences cognitives, souvent publiées par les acteurs eux-mêmes au cours des cinquante dernières années. Si Jérôme Segal a lui-même interviewé bon nombre de ces acteurs, directement ou par correspondance, il en délaisse la présentation biographique, et ses tendances méthodologiquement hagiographiques, pour intégrer leurs contributions à une histoire contextuelle extrêmement vivante, qu'il situe délibérément entre histoire des idées et histoire des institutions.

Il n'est pas question pour lui de célébrer les formidables ruptures que signifieraient la cybernétique ou l'intelligence artificielle, mais de situer les convergences techniques et épistémologiques qui ont conduit à donner à « l'information » une définition scientifique, et, pour ce faire, à l'envisager en termes quantitatifs plutôt que qualitatifs. Dans un second temps sont examinées les multiples implications de ce basculement du qualitatif au quantitatif, dont les enjeux sont tout à la fois d'ordre philosophique, économique, et idéologique. La question majeure porte sur

¹ Cette étude se réfère à l'ouvrage de Jérôme Segal paru en 2004, *Le Zéro et le Un, Histoire de la notion scientifique d'information au XX^e siècle*, Paris, Éd. Syllepse, Coll. « Matériologiques », Préf. A. Danchin.

² Les références bibliographiques qui suivent, pour abondantes qu'elles soient, n'en sont qu'un aperçu. Elles sont presque exclusivement les siennes, et permettront à ce lecteur potentiel d'aborder au moins l'étude des textes les plus marquants.

la validité de la tentative d'unification qui prend corps autour de cette nouvelle conception, unification de processus qui caractérisent tout autant l'autonomie de domaines organisés que celle des « opérations de l'esprit », auxquelles cette faculté d'autonomie est si souvent rapportée.

Une formulation mathématique commune, à quel prix ?

L'élaboration de la notion scientifique d'information suppose une formulation mathématique qui ne va pas sans risque. Cette nouvelle expression de l'information, née dans l'entre-deux-guerres, signe une rencontre capitale entre la théorie des probabilités et des domaines initialement aussi éloignés les uns des autres que la théorie cinétique des gaz, la génétique des populations, les télécommunications et la cryptologie. C'est en effet le formalisme probabiliste qui permet d'exprimer la « quantité d'information » en fonction du logarithme des fréquences des symboles utilisés. Jérôme Segal était intervenu à ce sujet lors d'une séance du séminaire d'histoire des mathématiques de l'Institut Henri Poincaré, pour souligner la diversité des approches scientifiques et techniques par lesquelles ce mot du langage courant a pris une signification spécifique nouvelle³. Les rapprochements entre physique stochastique et théorie des probabilités sont issus des travaux du physicien hongrois Léo Szilard⁴ (1898-1964), poursuivis par Norbert Wiener⁵ (1894-1964) du côté du mouvement brownien, et par John von Neumann (1903-57) du côté de la mécanique quantique⁶; la caractérisation mathématique d'un échantillon statistique émerge des recherches du biométricien Ronald A. Fisher⁷ (1890-1962), ou de celles d'ingénieurs en télécommunications comme Karl Küpfmüller⁸ (1897-1977) en Allemagne ou Harry Nyquist⁹ (1889-1970) et Ralph V.L. Hartley¹⁰ (1888-1970) aux États-Unis. Toutes ces prises en compte des aléas de notre connaissance déboucheront sur la formule établie dans ce cadre par Claude Shannon¹¹ (1913-2001) en 1945 dans le cadre de la théorie du signal :

$$H = \sum_{i=0}^n \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{N}{n_i} = - \sum_{i=0}^n p_i \log_2 p_i$$

³ Cette séance du séminaire avait fait l'objet d'un compte rendu dans *La Gazette des Mathématiciens*, n° 91, janvier 2002, 18-29.

⁴ Szilard, L., 1972-87, *The Collected Works of Léo Szilard*, Cambridge, MIT Press, 3 vols.

⁵ Wiener, N., 1921, "The average of an analytical functional and the Brownian movement", *Proceedings of the National Academy of Science*, 7, 294-298.

⁶ Neumann, J. von, 1932, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin, Verlag von Julius Springer, New York, Dover, 1943, Paris, PUF, 1947.

⁷ Fisher, R.A., 1925, "The Theory of Statistical Estimation", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 22, 700-725.

⁸ Küpfmüller, K., 1924, "Über Einschwingvorgänge in Wellenfiltern", *Elektrische Nachrichten Technik*, 1, Heft 5, 141-152.

⁹ Nyquist, H., 1924, "Certain Factors Affecting Telegraph Speed", *Bell System Technical Journal*, 3, avril, 324-346.

¹⁰ Hartley, R.V.L., 1928, "Transmission of Information", *Bell System Technical Journal*, 7, 535-563.

¹¹ Shannon, C., 1945, *A Mathematical Theory of Cryptography*, Memorandum MM 45-110-02; 1948, "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, 28, 59-98.

où N représente le nombre de choix possibles de signes utilisés, n_i le nombre de choix effectifs de ces signes, et p_i les probabilités correspondantes, selon la loi induite par leur répartition initiale dans le code utilisé pour constituer les messages. L'intervention du logarithme et des probabilités est destinée à exprimer le caractère additif de cette « quantité d'information », ainsi que la réduction de l'équivoque dont est porteur le choix qu'elle représente. Du fait de cette approche stochastique, cette définition ne se réfère donc pas à la situation d'un message particulier, considéré en tant que tel, mais sa situation dans l'ensemble des messages envisagés pour un « alphabet » et un « codage » donnés. Elle n'est pas destinée à évaluer le contenu spécifique des renseignements fournis, mais seulement l'efficacité de leur composition et de leur transmission, qu'elles soient verbales ou machiniques.

Outre l'ambiguïté qui reste attachée à la multiplicité d'origines de cette définition, la quantification de la notion d'information bute immédiatement sur un problème aussi crucial qu'épineux : une relation persiste-t-elle entre le sens courant du mot « information » et celui de cette quantité ? En devenant objective, l'information semble bien perdre toute dimension sémantique. C'est là un questionnement d'autant plus urgent que les effets de cette mutation du sens de ce mot se manifestent concrètement au présent, avec le développement des « nouvelles technologies de l'information et de la communication ». L'histoire des sciences regorge cependant d'autres cas où le renforcement de la puissance du « comment ? » va de pair avec le renoncement à certaines ambitions du « pourquoi ? », comme prix à payer de l'objectivation et de l'efficacité de la science. À titre de comparaison, Jérôme Segal évoque le cas de l'énergétique au tournant du XX^e siècle, dont Wilhelm Ostwald¹² (1853-1932) espérait le dépassement de l'opposition entre force et matière, voire entre esprit et corps. Et le basculement des notions de « force », de « mouvement » ou d'« attraction » dans le domaine scientifique fut tout aussi problématique au moment de la constitution de la science classique au XVII^e siècle : la mathématisation du mouvement, au sein d'une physique qui appréhende alors la matière comme inerte, participe de la réification de mouvements humains, antérieurement appréhendés comme signes de l'autonomie du vivant ; ils se trouvent assimilés à une action machinique, au sens où des causes agissantes préétablies et identifiables produisent leurs effets selon des « lois de la nature ». Dans le cas présent, ce qui apparaît comme un renoncement à la signification de l'information soulève des réticences d'autant plus vives qu'elle touche à une caractérisation de l'humain à la fois comme « être pensant » et comme « animal politique » au sens aristotélicien du terme, qui avait résisté à l'emprise des « lois de la nature », et dont la science classique ne s'était pas emparée. Face à ce nouveau monisme, les réticences sont si fortes qu'elles tendent à laisser dans l'ombre les significations nouvelles que fait surgir la quantification de l'information, et qui sont à identifier non plus du côté de l'émission individuelle du message, mais du côté de l'organisation collective de la transmission des messages. C'est la difficulté à appréhender tous les enjeux de cette mutation que l'analyse comparatiste de Jérôme Segal éclaire dans tous ses cheminements, aussi bien conceptuels et institutionnels que géographiques et chronologiques.

¹² Ostwald, W., 1912, *Die Energie*, Leipzig, Barth.

Un contexte spécifique, celui de la Seconde Guerre Mondiale

Aussi puissantes soient-elles, les idées scientifiques ne s'imposent pourtant pas d'elles-mêmes, et un des grands mérites de cette enquête est de nous renseigner très précisément sur le contexte politique, économique et philosophique, qui a vu ce nouveau champ disciplinaire prendre corps. Si différentes approches de la notion scientifique d'information se font jour en Europe pendant l'entre-deux-guerres, la Seconde Guerre Mondiale apparaît comme un catalyseur essentiel de l'étude technique des échanges d'information, qui porte aussi bien sur le codage des messages et de la voix¹³, sur la conduite de tir pour la défense anti-aérienne¹⁴ — domaines souvent signalés dans les histoires de l'informatique — que sur l'automatisation du calcul scientifique¹⁵ et des techniques industrielles ou l'étude de la fission nucléaire¹⁶ — plus souvent méconnues. C'est l'énormité des moyens matériels et humains concentrés par les États-Unis qui déplace vers l'Ouest la synthèse de développements alors également présents en Europe et en URSS. Elle installe outre-Atlantique des orientations de recherche et un partenariat durable entre l'armée, l'université, et l'industrie, que pérenniseront les années de guerre froide, et dont l'organisation de la science aujourd'hui ne saurait s'affirmer comme complètement indépendante. L'analyse de ce contexte ne débouche pas sur la minimisation du rôle des acteurs, mais elle rend manifeste leur engagement scientifique dans des recherches techniques dont ils n'ignorent pas les enjeux : Vannevar Bush (1890-1974) et l'analyseur différentiel pour les calculs balistiques, Warren Weaver (1894-1978) et la maîtrise de la conduite de tir, Wiener et l'« Anti Aircraft Predictor », von Neumann et la préparation de la bombe A, Shannon et Alan Turing (1912-54) autour de la cryptologie et du « X-system » de transmission numérique de la parole, mais aussi bon nombre de mathématiciens, parmi lesquels Richard Courant (1882-1972), Jerzy Neyman (1894-1981), George Birkhoff (1884-1944), Oswald Veblen (1880-1960)¹⁷. L'OSRD, *Office of Scientific Research and Development*, mobilise plus de 6 000 scientifiques, répartis sur tout le territoire, et implique les universités et les instituts d'ingénierie et les laboratoires de recherche privés. À la fin de la guerre, le MIT est le premier partenaire des forces armées avec près de 120 millions de dollars de contrats.

Culture technique et culture scientifique s'interpénètrent d'autant plus fortement que la théorie de l'information devient discours unificateur pour la cybernétique et l'informatique, nées au même moment et dans les mêmes conditions, autour des mêmes acteurs et avec les mêmes enjeux. Les recherches de guerre ont cruciallement contribué à l'établissement des grands calculateurs et d'une théorie unifiée de la rétroaction (feedback). Dès 1948, la cristallisation du dogme cybernétique autour des notions d'information et de rétroaction consacre l'expression commune

¹³ Budiansky, Stephen, 2000, *Battle of Wits : The Complete Story of Codebreaking in World War II*, New York, The Free Press.

¹⁴ Bush, V. 1931, "The Differential Analyzer. A New Machine for Solving Differential Equations", *Journal of the Franklin Insitutte*, vol. 212, 447-88.

¹⁵ Campbell-Kelly, M., Croarken, M., Flood, R. & Robson, E., 2003, *The History of Mathematical Tables*, Oxford, Oxford University Press.

¹⁶ Hoddeson, L., Henriksen, P.W., Meade, R.A., Westfall, C.L., 1993, *Critical Assembly : A technical History of Los Alamos during the Oppenheimer years, 1943-45*, Cambridge, CUP.

¹⁷ Godement, R., 1998, "Postface : Science, technologie, armement", *Analyse mathématique II, Calcul Différentiel et intégral, séries de Fourier, Fonctions holomorphes*, Springer, 377- 465.

des processus de régulation, appréhendés dès avant la guerre dans l'étude des servomécanismes¹⁸ et la structure des centres de téléphone ou de calcul¹⁹, et dans les phénomènes biologiques sous le nom d'homéostasie²⁰. Lorsque l'étude des servomécanismes rencontre la théorie de la prédiction, lorsque la structure des circuits électriques ou téléphoniques se lit en termes logiques, lorsque le câblage externe des gros calculateurs devient programme interne d'ordinateur, et apparaît susceptible d'un même traitement numérique en « langage » binaire, ce discours commun s'affirme comme celui des comportements organiques et machiniques. Ancré sur l'espoir d'un nouveau social et humain porté par la sortie de guerre, dont le mythe d'un Homme démiurge n'est pas absent, le rêve philosophique de l'unité des sciences semble ainsi se concrétiser en un nouveau paradigme qui incite Jérôme Segal à se référer à un manuscrit de Leibniz, découvrant en 1679 le « calcul avec des zéros et des uns » dans les figures du *Livre des Transformations chinoises*.

Si l'histoire tend à localiser à l'Est les aspirations matérialistes, elles sont tout aussi manifestes, au moins sous la forme d'un monisme athée, dans les conférences interdisciplinaires de la fondation Macy, qui de 1946 à 1953, rassemblent tous les grands noms de l'histoire de l'informatique et de la cybernétique à New York sur le thème « Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems » : la formalisation mathématique des échanges d'information n'offre-t-elle pas la maîtrise de processus envisagés jusque là comme fonctionnement de l'esprit, qui peuvent alors être attribués directement au cerveau, c'est-à-dire au vivant, sans référence spécifique à l'humain²¹ ? Et Jérôme Segal marque le lien de ces acteurs avec le programme positiviste du début du XX^e siècle, notamment via les conceptions du Cercle de Vienne, et l'émigration d'un philosophe, logicien et probabiliste comme Rudolf Carnap (1891-1970), dont l'enseignement aux États-Unis marquera les pionniers du projet cybernétique²².

Pour Jérôme Segal, qui préfère se consacrer à l'étude des phénomènes d'appropriation plutôt qu'à la recherche des « précurseurs », la rapidité avec laquelle la cybernétique se répand dans la période 1950-70 témoigne de l'existence hors des États-Unis d'un milieu déjà structuré avant la guerre, institutionnellement et conceptuellement, par d'importantes recherches sur ces phénomènes de régulation, aussi bien dans le domaine technique que biologique. Les États-Unis n'ont pas inauguré les rapprochements entre physique et industrie, déjà bien établis en URSS et en Europe. C'est ainsi que dans l'industrie allemande des années 1930, des ingénieurs parmi lesquels Karl Küpfmüller (1897-1977) ou Winfried Oppelt (1912-2000) s'attachent à l'étude technique des phénomènes de régulation, tandis que Félix Lincke fait le lien entre régulation technique et biologique, et que le biologiste Robert Wagner publie dès 1932 *Chômage et déflation dans la société du point de vue biologique*, où il cherche à rendre compte des problèmes économiques par des défauts de régulation. Dans le même temps, la position du physicien et ingénieur

¹⁸ Schmidt, H., 1944, *Regelungstechnik, Begriffe und Bezeichnungen*, Berlin, VDI-Verlag.

¹⁹ Cannon, W.B., 1929, "Organization for Physiological Homeostasis", *Physiological Reviews*, 9, 399-431.

²⁰ Ehrenfest, Paul, 1959, *Collected Scientific Papers*, Amsterdam, North Holland Publishing Company. New York, Interscience Publishers Inc.

²¹ Dupuy, J.-P., 1994, *Aux origines des sciences cognitives*, Paris, La Découverte.

²² Carnap, R., Neurath, O., & Morris, C.W., 1938-1955, *International Encyclopædia of unified Science*, Chicago, University of Chicago Press.

Hermann Schmidt (1894-1968) au bureau des brevets du III^e Reich l'amène à synthétiser les orientations de recherche d'instituts comme les Kaiser-Wilhelm-Institutes, la Friedrich-Wilhelm-Universität, l'Institut du Reich pour la physique et la technique, la Technische Hochschule de Berlin-Charlottenbourg, et plusieurs grandes entreprises sidérurgiques : il propose une représentation unique et une terminologie unifiée pour aborder les problèmes de stabilité, de description analytique du développement de nouveaux outils ou d'optimisation des systèmes. En Grande-Bretagne, c'est dès 1943 que W. Ross Ashby (1903-72) rédige « L'origine physique de l'adaptation par essais et erreurs », publié en 1945 dans le *Journal of General Psychology*, où l'étude comparative des phénomènes de régulation lui permet de délaissier les hypothèses vitalistes en biologie. En France même, l'ingénieur et architecte Jacques Lafitte affirme, dans ses *Réflexions sur la science des machines* (1932), avoir été guidé par l'étude des corps organisés vivants : son travail inspirera le projet de Louis Couffignal (1902-66) sur les « machines à penser ».

C'est donc bien une formalisation mathématique commune qui sous-tend la possibilité d'une vision synthétique de tous ces phénomènes, et c'est dans la multiplicité des contacts retrouvés de l'après-guerre, ceux d'une reconstruction tous azimuts, que se concrétisent ses potentialités. Au-delà du rôle connu des fondations privées, comme la fondation Macy ou la fondation Rockefeller aux États-Unis, l'abondance des congrès et des publications manifeste l'intensité des débats, nationaux et internationaux, par lesquels la notion scientifique d'information s'installe au cœur des modes de théorisation de l'action efficace. Le premier congrès international organisé à Londres par la Royal Society en 1950, « Cybernétique, théorie du signal et de l'information », est reconnu comme décisif jusqu'aux États-Unis pour établir la théorie de l'information comme discipline autonome. L'URSS elle-même ne résistera pas longtemps à ce corpus, à ceci près que les manifestations du discours idéologique sur la science se laissent mieux appréhender dans les états fortement centralisés. Alors que les ordinateurs y existent et sont aussi performants que ceux d'Europe et des États-Unis dans les années 1950 — qu'il suffise de penser à Spoutnik et à la bombe atomique russe, qui n'auraient pas été possibles sans eux —, la cybernétique y sera d'abord violemment critiquée comme « pseudo-science », « bourgeoise » et « obscurantiste », avant d'y être promue officiellement en 1962 en tant que confirmation du matérialisme dialectique. L'intérêt qu'elle représente pour les militaires n'est pas étrangère à ce revirement, comme en témoignent les interventions de l'amiral académicien Axel Berg (1896-1979), ainsi que la critique potentielle qu'elle semble autoriser envers la bureaucratie et l'économie²³. Profitant d'un long séjour sur place, Jérôme Segal analyse surtout le phénomène à partir des confrontations qui ont lieu en RDA à ce sujet, notamment autour de l'engagement direct du philosophe Georg Klaus (1912-74) dans ce travail de légitimation²⁴.

On passe ainsi progressivement d'une analyse mathématique des phénomènes physiques dominée par le calcul différentiel, à des théories fréquentielles marquées par leur origine dans les télécommunications, et d'un discours sur l'énergie à des recherches sur la stabilité des systèmes.

²³ Trogemann, G., Nitussov, A. Y. & Wolfgang E. (Eds), 2001, *Computing in Russia. The History of Computer Devices and Information Technology revealed*, Vieweg. Gerovitch, Slava, 2002, *From Newspeak to Cyberspeak*, Cambridge, the MIT Press.

²⁴ Klaus, G., 1961, *Kybernetik in philosophischer Sicht*, Berlin, Dietz Verlag.

Théorie, heuristique ou idéologie

Avec la notion de rétroaction, et la circulation d'information qu'elle suppose, les servomécanismes industriels et l'homéostasie physiologique deviennent donc susceptibles d'une même formalisation. Celle-ci permet du même coup d'envisager l'adaptation et l'apprentissage comme les processus de régulation qui permettent de caractériser une autonomie de « comportement » aussi bien pour la machine que pour « l'animal ». Rejoignant les travaux de Ludwig von Bertalanffy (1901-72) sur l'étude des systèmes²⁵, ce type de représentation relègue au second rang les références à un support physique ou à une conscience agissante. La comparaison récurrente entre ordinateur et cerveau humain dans les années 1950 ne fera que renforcer cette tendance, avec la double tentation de substituer la machine à l'homme, avec le risque — aussi bien économique que philosophique — de réduire l'homme à la machine²⁶.

Ce risque de réification de l'humain va bien au-delà de la projection anthropomorphique qui nous fait attribuer une « pensée » aux machines. Il s'articule sur un non-dit propre au rôle du formalisme mathématique dans ce processus d'identification. Quiconque a déjà écrit une équation algébrique sait que si les symboles permettent d'explicitier les opérations d'un problème, ils laissent à l'utilisateur le soin d'en déterminer la signification au départ, qui déterminera ses conditions de validité dans les applications. Cet oubli tacite du sens n'est donc pas propre à la « quantité d'information », mais à son caractère opératoire : il en sous-tend toutes les possibilités d'extension, qu'elles aient valeur heuristique ou idéologique. Le recours aux analogies est inhérent à tout processus de symbolisation et à la plasticité de la langue naturelle. L'impact de la notion d'information porte la trace d'une interrogation collective particulièrement vive dans la période de réorganisation générale, politique, sociale et intellectuelle, que constitue l'après-guerre. Jérôme Segal nous restitue les débats intervenus dans de nombreux domaines lors des différentes tentatives pour appréhender les phénomènes en termes de quantité d'information. Ils montrent à la fois les limites de cette notion, le travail d'élaboration de significations nouvelles et les effets en retour sur la théorie de l'information elle-même, tout en confrontant le rêve d'unification dont elle est porteuse aux enjeux politiques et idéologiques de sa fonction de représentation du monde et de la société.

La restructuration des champs du savoir qu'engage la théorie de l'information est énorme, et conjugue des interactions fortes entre potentialités et travail fondationnel. La valeur heuristique de la simulation n'est plus à démontrer, et les applications techniques concernent tous les appareils codés, des missiles et des drones aux cartes à puces et à Internet. Si ce n'est pas l'aspect le plus médiatisé de son impact, c'est d'abord dans le domaine scientifique que la théorie de l'information conduit à une restructuration des relations entre différentes disciplines, d'abord par le biais de l'utilisation des mêmes outils mathématiques. C'est ainsi qu'elle unifie les différentes utilisations de la transformation de Fourier présentes dans les travaux des statisticiens, des physiciens, et des ingénieurs en télécommunications. Elle nourrit également une réflexion épistémologique et philosophique générale, dont le physicien français Léon Brillouin (1889-1969), devenu citoyen américain en 1949,

²⁵ Bertalanffy, L. von, 1973, *Théorie Générale des Systèmes*, Paris. Dunod.

²⁶ Von Neumann, J., 1996, *L'ordinateur et le cerveau* (1958), Paris, Flammarion, Champs.

est un des principaux représentants²⁷. Lui qui a toujours mené de front recherches pratiques (radio, acoustique, magnétron) et recherches théoriques en mécanique quantique et en thermodynamique envisage les lois de la nature ou les théories scientifiques comme des constructions humaines : les concepts d'information et d'organisation sont nécessaires et suffisants à leur élaboration, et permettent de faire fi de toute hypothèse supplémentaire, comme la continuité de l'espace ou les a priori kantien.

Mais surtout, les difficultés inhérentes à la diversité des origines de la « quantité d'information » alimentent la recherche d'un cadre mathématique plus général, qui tient aussi de la tentative de réinvestir du sens à cette définition, là où les besoins de la quantification l'en avaient initialement exclu. Dès 1950, les travaux de Irving J. Good²⁸ (né en 1916) et de G.A. Barnard²⁹ (1915-2002) en Grande-Bretagne, de Benoit Mandelbröt³⁰ (né en 1924) et Marcel-Paul Schützenberger³¹ (1920-96) en France participent directement de cet effort d'unification par la recherche d'une axiomatisation mathématique, et donnent lieu à un débat sur la nature ontologique ou constructiviste de la théorie de la décision et de la statistique. Aux États-Unis, au-delà de l'unification des cas discret et continu, les travaux de S. Kullback, qui se place dès 1951 dans le cadre de la statistique inférentielle, situent la théorie de l'information comme branche des probabilités, où définition de l'incertitude devient mesure de l'information manquante³². L'interprétation subjectiviste des probabilités se trouve ainsi renforcée, tout comme dans le cadre de la réinterprétation de la mécanique statistique, qui se manifeste par exemple dans la création de l'association internationale « Maximum d'entropie et méthodes bayésiennes », et où l'entropie va acquérir une signification indépendante de la thermodynamique. En URSS, c'est dès le congrès international de mathématiques d'Amsterdam (1954) que Andrei N. Kolmogorov (1903-87) s'enthousiasme pour la théorie de l'information qu'il envisage comme moyen de décrire de façon universelle un objet mathématique aléatoire (à partir du nombre de bits qui suffisent en moyenne à le décrire) : il crée ainsi à Moscou une véritable école soviétique en ce domaine, jusqu'à fonder en 1965 la théorie de la complexité algorithmique, unifiant les approches combinatoire, probabiliste, et algorithmique de l'information³³.

Quant au succès de la notion scientifique d'information, Jérôme Segal l'attribue en premier lieu aux applications techniques qu'elle induit, au premier rang desquels figurent les développements massifs de l'ordinateur dans les années 1950,

²⁷ Brillouin, L., 1959, *La science et la théorie de l'information*, Paris, Masson ; 1964, *Scientific Uncertainty and Information*, London, New York, Academic Press Inc.

²⁸ Good, I.J., 1950, *Probability and the Weighting of Evidence*, London, Griffen & Cie.

²⁹ Barnard, G.A., 1951, "The Theory of Information", *Journal of the Royal Statistical Society*, B., 13, 46-69.

³⁰ Mandelbröt, B., 1953, *Contributions à la théorie mathématique des jeux de communication*, Publications de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris, 2, 3-124.

³¹ Schützenberger, M. P., 1953, *Contributions aux applications statistiques de la théorie de l'information*, Publications de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris, 3, 3-17.

³² Kullback, S., 1959, *Theory of Information and Statistics*, New York, John Wiley & Sons.

³³ Kolmogorov, A.N., 1965, "Three Approaches of Quantitative Definition of Information", *Problems of Information Transmission*, 1, 3-11.

les recherches en optique d'A. Blanc Lapierre³⁴ (1915-2001), celles de Dennis Gabor³⁵ (1900-79) sur l'holographe, et surtout les recherches sur l'amélioration de la transmission des signaux, notamment la théorie des codes correcteurs, dont les applications vont des communications spatiales à la compression de données³⁶. Il n'empêche qu'une part essentielle de ce succès provient des débats qui portent sur la possibilité de transférer ce nouveau concept d'information à d'autres domaines de connaissance. Et il est manifeste que l'engouement pour le discours informationnel et son pouvoir unificateur est d'autant plus fort que la question du sens est plus délicate : en linguistique, psychologie, sociologie, économie, droit, et plus encore en biologie moléculaire. La psychologie et la linguistique, mobilisées dès l'effort de guerre, la première par la cryptologie, la seconde pour théoriser les problèmes liés au comportement perturbé des pilotes, sont partie prenante du projet cybernétique. Il est remarquable que la théorie de l'information transforme le paysage linguistique après la guerre, de l'approche probabiliste de Roman Jakobson³⁷ (1896-1982) aux approches formelles de Noam Chomsky³⁸ (né en 1928) ou de Y. Bar-Hillel³⁹ (1915-75). Approches, qui toutes buteront sur l'obstacle sémantique de la polysémie profonde des langues naturelles, dont la pragmatique de Charles W. Morris⁴⁰ (1901-79) tentera de rendre compte, relayée par les considérations techniques de Weaver⁴¹, et par un débat plus général sur la nature du langage.

Le transfert de la théorie de l'information à l'étude du vivant, qui marque la naissance de la biologie moléculaire, est sans aucun doute le plus caractéristique. Il s'inscrit pour Jérôme Segal dans une véritable entreprise réductionniste de colonisation de la biologie par la physique, dont témoignent les 900 000 millions de dollars du programme de recherche de la Fondation Rockefeller de 1932 à 1959. L'information s'y substitue à l'énergie comme concept fondamental. L'analogie formelle entre l'expression de l'entropie et celle de l'information, et la tentative de conciliation entre compréhension du vivant et second principe de la thermodynamique débouchent ainsi sur une nouvelle approche du vivant, qui permet d'envisager les organismes comme des systèmes organisés à plusieurs niveaux, et d'appliquer la notion d'information à d'autres champs qu'à celui de la génétique, en particulier à la physiologie des membranes ou à l'embryologie. Aussi bien Weaver que Hans Kalmus⁴² (1906-89) ou John B.S. Haldane⁴³ (1892-1964) ; fondateur de la génétique

³⁴ Blanc Lapierre, A., 1970, "Considérations sur la théorie de la transmission de l'information et sur son application en physique", *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, XIII, 245-96.

³⁵ Gabor, D., 1964, "Light and Information", *Progress in Optics*, 1, 111-153.

³⁶ Berlekamp, E.R., 1974, *Key Papers in the Development of Coding Theory*, New York, McGraw-Hill.

³⁷ Jakobson, R., 1961, "Linguistics and Communication Theory", *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 12, 245-252. Reproduit en français dans 1963, *Essais de linguistique générale*, Paris, Minuit.

³⁸ Chomsky, N., 1956, "Three Models for the description of a Language", *I.R.E. Transactions on Information Theory*, 2, 113-124.

³⁹ Bar-Hillel, Y., 1964, *Language and Information, Selected Essays on their Theory and Applications*, Reading, Addison-Wesley.

⁴⁰ Morris, C.W., 1946, *Signs, Language, and Behaviour*, New York, Prentice Hall.

⁴¹ Weaver, W., 1967, *Science and Imagination, Selected Papers of Warren Weaver*, New York, London, Basic Book, Inc. Publishers.

⁴² Kalmus, H., 1950, "A cybernetic aspect of Genetics", *Journal of Heredity*, 41, 19-22.

⁴³ Haldane, J.B.S., 1949, "Suggestions as to quantitative measurement of rates of evolution", *Evolution* 3, 51-56.

des populations, envisagent ainsi la comparaison entre transmission génétique et transmission informationnelle avant même la découverte de la structure de l'ADN ; mais c'est bien avec cette découverte que s'imposera le vocabulaire du codage de la séquence d'acides aminés de la protéine, avec les travaux de Jacques Monod et de François Jacob. Le mythe du « tout génétique », et la contestation du déterminisme qu'il induit, en sont partie prenante.

Jérôme Segal s'inquiète tout au long de l'ouvrage des conditions et des limites d'un tel succès, parlant « d'attitudes oscillantes entre rationalisme appliqué et fascination mystique ». C'est au nom de cette multiplicité d'attitudes qu'il préfère parler de la théorie de l'information en termes de discours informationnel plutôt que de théorie scientifique, et se référer à la notion scientifique d'information plutôt qu'au concept d'information, afin de distinguer entre les aspects effectif, constructif et prospectif de son utilisation, selon l'expression du logicien John Myhill⁴⁴. Inquiétude légitime, mais qui pourrait séparer plus clairement les entreprises de type « sectaire » — de la secte Moon aux effets de mode — et celles qui sont issues du refus légitime de confondre la richesse et la plasticité de l'invention humaine avec la constructivité formelle de ces nouvelles machines, dont la puissance de calcul tend à masquer le caractère normatif et clos. Là où la préface d'Antoine Danchin vise à démarquer la théorie de l'information des facteurs psychosociologiques, de « l'hypocrite magie du flou » et de « l'avènement d'une philosophie molle », persiste la question de savoir où demeure la spécificité de l'humain face à ce matérialisme scientifique, puisque l'ouvrage est précisément édité dans une collection qui s'en revendique. Que devient l'autonomie du sujet, que la philosophie comme la théologie ont attribuée pendant tant de siècles à l'action de l'esprit, dès lors que celle-ci semble pouvoir être simulée, voire matérialisée, par le fonctionnement d'un réseau de neurones formels ? La question est d'autant plus cruciale que, si la théorie de l'information renonce à la signification des messages échangés, son objectif est ailleurs : il concerne la compréhension et la maîtrise des systèmes organisés, dont l'humain n'apparaît plus que comme un élément parmi d'autres, interchangeable avec la machine. C'est cet objectif qui sous-tend l'automatisation systématique des processus industriels et des champs de bataille, tout comme la circulation quasi instantanée d'informations d'un bout à l'autre de la planète. Il y a donc bien davantage une fonction d'effectivité que de causalité. La technologie sous-jacente, au service de ceux qui la maîtrisent, autorise un renforcement de pouvoir porté par « l'exploitation des effets engendrés par les techniques de communication », dont témoigne l'existence des réseaux informatiques comme le programme SAGE⁴⁵ ou ARPANET⁴⁶, et qui se trouve à cent lieues de la croyance naïve en l'universalité et la transparence des échanges. L'autonomie du sujet, pensé comme simple individualité, peut être abandonnée au discours religieux ou publicitaire. Que des sectes aient pu s'en emparer ne représente qu'un phénomène marginal. Bien plus conséquente risque d'être l'emprise des organes de pouvoir centralisés, maîtres de ces techniques, des militaires aux multinationales, tout comme les risques encourus par le recul du

⁴⁴ Myhill, J., 1952, "Some philosophical implications of mathematical logic. Three classes of ideas", *The Review of Metaphysics*, 6, 165-198.

⁴⁵ Edwards, Paul, 1996, *The Closed World : Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 113-45.

⁴⁶ Hellige, H.D., 1994, "From Sage via Arpanet and Ethernet : Stages in Computer Communications Concepts between 1950 and 1980", *History and Technology*, 11, 49-75

contrôle conscient des processus de communication, voire la déresponsabilisation dont est porteuse l'automatisation du cycle perception-décision-action. La question du contrôle ou de l'auto-organisation de ces systèmes, demeure une question ouverte, profondément humaine et sociale.