

Art et cybernétique

Eloge du simulacre

Simon Diner

Les foires et expositions auraient peur de perdre leur réputation si elles ne faisaient les frais de quelque attraction « cybernétique ».

Mais on est pas obligé pour autant de réduire l'activité cybernéticienne à une sorte de concours Lépine supérieur.

Même en laissant de côté la ménagerie électronique et la mythologie des machines, il reste un énorme disparate où le travail scientifique le plus sérieux côtoie des intuitions aventureuses : l'expérience et l'usage feront le tri.

G.-Th. Guilbaud
La cybernétique
Que sais-je. PUF
1954

Tant au niveau épistémologique que technique, la cybernétique constitue le modèle-type de la technoscience, c'est à dire d'un projet de connaissance axé sur le contrôle opérationnel plutôt que sur une recherche fondamentale destinée à mieux comprendre un phénomène donné.

C. Lafontaine
La cybernétique matrice du posthumanisme
Revue Cités 4, 2000

Ne lui donnerons nous pas, parce qu'il paraît ressembler, mais ne ressemble pas réellement, le nom de simulacre.

Platon

Le sophiste. 236c

.....simulacres de simulation, fondés sur l'information, le modèle, le jeu cybernétique -opérationnalité totale, hyperréalité, visée de contrôle total.

J. Baudrillard

Simulacres et science-fiction

Simulacres et simulation. Galilée.

1981

Le domaine de la cybernétique a pris naissance lorsque les concepts d'information, de feedback et de contrôle (Wiener 1948) ont été étendus des applications spécifiques (par exemple en ingénierie) aux systèmes en général, en y incluant les systèmes d'organismes vivants, les processus intellectuels abstraits et le langage.

R. Pangaro

Encyclopedia of computers

Mac Millan 1991

Il est des moments de l'histoire qui se laissent caractériser par des visions du monde particulières, qui leur confèrent un semblant d'unité et fournissent un cadre explicatif plausible pour les évènements qui les jalonnent. L'esprit d'une époque, le « Zeitgeist ». L'âge de la scholastique, l'âge de l'humanisme, l'époque baroque, le siècle des Lumières, l'époque romantique et révolutionnaire, l'âge de la machine à vapeur, l'âge de l'électricité et de la radio. La seconde moitié du XX ème siècle est l'ère de la

cybernétique, en entendant par là beaucoup plus une culture et une idéologie qu'une théorie scientifique précise. La cybernétique tout comme la théorie de l'information sont profondément ancrées dans un contexte socio-culturel qui n'a rien à voir directement avec leurs contenus scientifiques. Il n'est pas étonnant que l'art prenne dans cette situation des formes nouvelles et spécifiques qui bouleversent l'image traditionnelle de l'art.

Le peintre Jackson Pollock a très justement déclaré que « Il me semble que la peinture moderne ne peut exprimer son époque, l'avion, la bombe atomique, la radio, dans les formes de la Renaissance ou de quelque autre culture passée. Chaque époque trouve sa propre technique ». Encore n'avait-il pas assisté à l'explosion de l'informatique et d'internet, et à l'apparition de l'art des nouveaux médias.

La critique Annick Bureau distingue deux approches dans les analyses théoriques de l'art des nouveaux médias. La première considère une filiation avec la photographie et le cinéma. La seconde s'ancre dans « la cybernétique, dans l'idée du traitement du signal, du traitement de l'électron et du flux ». Cela lui semble offrir des outils conceptuels plus appropriés pour conduire une analyse esthétique et théorique de l'art des nouveaux médias. Cette approche permet notamment de mieux appréhender les installations ou encore les œuvres sur internet, en ouvrant la réflexion sur l'instable, les systèmes dynamiques et l'appréhension de l'œuvre comme processus. Ainsi la cybernétique, prise comme une philosophie de « l'œuvre ouverte », serait source de création artistique et outil d'analyse.

Pour sa part, Edmond Couchot, artiste et théoricien de l'art technologique, rappelle que l'art numérique s'alimente à sa naissance à un très vaste et très puissant courant de pensée : la cybernétique et la théorie de l'information. Selon lui, les théories cybernétiques influencent aussi, entre les années soixante et quatre vingt, la presque totalité du monde de l'art, sans que celui-ci y fasse toujours explicitement référence.

Dans le catalogue de l'exposition : « L'œil moteur. Art optique et cinétique. 1950-1975. » présentée au Musée d'Art moderne et contemporain de Strasbourg du 13 Mai au 25 septembre 2005, le mot cybernétique s'emploie sans retenue et

l'on découvre des expressions curieuses comme l'extension cybernétique de la conscience perceptive ou le sujet cybernétique dans l'art optique.

On peut réellement se poser des questions sur toutes ces références disparates de la critique d'art à la cybernétique.

La cybernétique. La modélisation générale des systèmes ouverts.

L'après deuxième guerre mondiale a vu naître la doctrine de la cybernétique, reflet de l'activité scientifique et industrielle suscitée par la guerre et de la concrétisation d'une nouvelle stratégie face au monde qui s'opère par un glissement métaphysique des Choses aux Actions. La cybernétique n'est pas une science mais un état d'esprit et une méthodologie qui incarne un volontarisme commun à l'Amérique d'après guerre et à la Russie soviétique de la fin des années cinquante. Un état d'esprit qui se nuance selon les pays et les circonstances historiques, mais qui marque profondément la culture. Avec des enjeux qui dépassent le scientifique et le technique et qui placent d'emblée la cybernétique sur le terrain de la philosophie et de l'idéologie. Un statut qui se trouve à la source de bien des polémiques et des disputes idéologiques.

Le terme cybernétique a été mis à la mode par l'ouvrage de Norbert Wiener : « Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine » paru en 1948. La traduction russe date de 1958.

L'ouvrage de W. Ross Ashby : « An introduction to cybernetics » (1956), est traduit en russe en 1959 avec une préface du grand mathématicien A.N. Kolmogorov, qui déclare qu'il est maintenant trop tard pour polémiquer sur le bien fondé de l'emploi du mot cybernétique. Pour lui la cybernétique c'est l'étude des systèmes de nature quelconque susceptibles de recevoir, de conserver et de transformer de l'information pour

l'utiliser à des fins de contrôle et de régulation. Ce mathématicien, fondateur de la théorie moderne des probabilités et qui va contribuer de manière éclatante aux développements de la théorie de l'information et de la théorie des systèmes dynamiques, souligne bien le rôle essentiel que joue le concept d'information propagé par la théorie de l'information nouvelle née (Shannon. 1948), dans les ambitions de la cybernétique. Il fait la revue des armes de cette théorie abstraite : une théorie statistique : « la théorie de l'information », une théorie logique : « la théorie des algorithmes » et une théorie dynamique : « la théorie des automates ». La cybernétique c'est l'alliance entre les probabilités, la logique et la dynamique. Vaste programme en effet. Mais l'insistance sur le rôle de la théorie de l'information révèle qu'il s'agit là d'autre chose que d'une théorie physique traditionnelle, car tout comme la probabilité, l'information n'est pas une grandeur physique comme une autre. De fait la cybernétique n'est pas une théorie physique spécifique mais une doctrine générale de modélisation de certains phénomènes dynamiques.

Le mot cybernétique vient du grec Kybernetike, art de conduire. Il est fréquemment utilisé par Platon pour désigner l'art de conduire un navire, l'art du pilotage. En latin cybernetica désigne la science de l'organisation de l'Eglise.

Au XIX ème siècle, A.M. Ampère utilise cybernétique dans son « Essai sur la philosophie des sciences » (1834) pour désigner l'étude des moyens de gouvernement. F.B. Trentowski, élève de Hegel, l'utilise dans le même sens.

Wiener pensait en fait à la désignation en anglais des régulateurs de machines par le nom de governor, qui vient du latin gubernator issu du grec kyberneter. En 1868, Maxwell avait publié un article fondateur de la théorie de la régulation sous le titre : « On governors ».

On aurait aussi bien pu parler de Gouvernatique. Mais cybernétique garde une aura mystérieuse qui convient bien à un emploi idéologique.

Cybernétique a une connotation forte de contrôle et d'optimisation, et peut être utilisé pour renvoyer à une science du contrôle optimal des systèmes dynamiques complexes . Mais si la cybernétique c'est le contrôle plus l'information, la théorie du contrôle devient en fait la construction de modèles de contrôle. Cette science implique un traitement de l'information (collecte, stockage, transmission), auquel il est préférable de réserver le terme restrictif d'Informatique. L'informatique est une technologie au service de la cybernétique. L'idéologie de la production et de la consommation privilégie l'aspect informatique, enraciné dans la technologie industrielle, et occulte l'idée cybernétique. Ce n'est pas par hasard si le vocable informatique domine dans les pays capitalistes et si le terme cybernétique était largement utilisé dans les pays socialistes.

La cybernétique s'inscrit dans l'ambition, répandue au XX ème siècle, de constituer des sciences générales abstraites, ne spécifiant pas de domaines particuliers, ni d'objets effectivement constitutifs de la réalité physique. La cybernétique prétend étudier des modèles mathématiques abstraits d'objets réels. Le développement de la logique et de l'axiomatique mathématique sont les emblèmes de cet effort que l'on retrouve dans la linguistique générale, la sémiotique et le structuralisme. La cybernétique est la science qui étudie les principes abstraits de l'organisation et du fonctionnement des systèmes complexes. La cybernétique se veut en effet une théorie générale du contrôle, une théorie générale des systèmes, une théorie générale de la complexité. Une ambition partout présente dans l'Art du XX ème siècle, dominé par les notions d'abstraction et de formalisation .

S'élevant au dessus d'une simple pratique technologique (automatismes, servomécanismes, commande, traitement de l'information), la cybernétique s'érige en science par l'élaboration d'un corps doctrinal et conceptuel propre, obtenu souvent au détriment d'autres sciences ou par amalgame d'autres savoirs. Science carrefour, elle prétend être un lieu privilégié d'intégration et d'unification des connaissances, et se pose (ou s'impose) comme

¹ La cybernétique est née de la révolution du contrôle engendrée par les besoins du développement industriel, économique et social. Ses thématiques sont issues de la thématique centrale de la communication homme-machine : systèmes ouverts, information, feedback, régulation. Ses maîtres mots sont la relation et l'interactivité.

science phare, démarche englobante, idéologie. Elle se constitue en vision du monde à la mesure du contexte socio-historique et technologique contemporain. Elle tend à supplanter dans ce rôle, la Mécanique (qui revient en force dans les années 70 avec la théorie des systèmes dynamiques non linéaires) et la Thermodynamique (qui s'enrichit sans cesse avec la théorie des processus irréversibles et l'étude des transitions de phase), tout en les récupérant. Elle cherche à coiffer toutes les tentatives de constitution d'une vision globale ou d'un système scientifique (analogue à un système scientifique) qui se développent parallèlement : Théorie de l'Information, Structures Dissipatives, Synergétique, Théorie de l'Auto-organisation, Théorie des Catastrophes, Théorie de la Complexité, Intelligence artificielle. Doctrine unificatrice, état d'esprit au service du monde contemporain, qui dans son effort pour maîtriser la complexité, vacille entre un contrôle optimal volontariste et dictatorial et une auto-organisation libératrice. Un projet pour l'Homme.

Se constituant progressivement comme une science générale abstraite du contrôle de l'organisation des systèmes dynamiques complexes, la cybernétique, fidèle à ses origines transdisciplinaires, étend sa compétence sur de très nombreux champs du savoir ou de l'activité humaine. Machines mécaniques, électriques, électroniques ; robots et automates ; systèmes biologiques, médicaux, économiques, sociaux, juridiques ; étude du comportement humain, intelligence artificielle, créativité. On voit apparaître une cybernétique physique pour le contrôle du chaos ou le contrôle de l'évolution quantique, et une cybernétique quantique alimentée par la théorie de l'information quantique.

Ce qui fait l'unité de la démarche cybernétique, c'est sa méthodologie de modélisation des systèmes dynamiques ouverts.

La science classique s'est construite en tant que science du mouvement des systèmes isolés, incarnée par la mécanique classique, modèle idéal du comportement des planètes, d'où Galilée avait judicieusement éliminé la considération du frottement. Cette mécanique était devenue une science modèle et un idéal d'intelligibilité. Son formalisme lagrangien et hamiltonien constitue la charpente d'une grande partie de la physique

théorique contemporaine. Mais c'est là un modèle qui ne convient qu'aux systèmes isolés.

Depuis le milieu du XIX^{ème} siècle apparaît une prise de conscience de l'importance des systèmes ouverts. La thermodynamique, les réactions chimiques, la régulation des systèmes mécaniques et électriques nécessitent des modèles de systèmes ouverts que la mécanique classique ne fournit pas. Il apparaît alors que la formulation des entrées, des sorties et des rétroactions, n'est pas une affaire simple.

Le XX^{ème} siècle est avant tout le siècle de la communication électromagnétique (radio), or les générateurs d'ondes électromagnétiques, lasers compris, sont des systèmes ouverts. Bien plus, on comprend que les systèmes producteurs de forme, les systèmes vivants, et la pensée peut-être, sont tout comme les systèmes sociaux, des systèmes ouverts. L'écologie est une considération de l'ouverture des systèmes sur leur environnement. A la fin de la seconde guerre mondiale ce besoin d'une théorie générale de la modélisation des systèmes ouverts complexes se fait sentir. Le discours cybernétique ne fait que tenter de répondre à ce besoin, qui s'avère plus difficile à satisfaire qu'il ne pouvait y paraître. Le miracle de la mécanique classique ne se répète pas à volonté. Même si l'on comprend que la mécanique quantique s'avère sans le dire une modélisation cybernétique réussie du système microphysique ouvert sur son environnement macroscopique. Sans oublier pour autant que toutes les difficultés de cette théorie proviennent précisément de l'ouverture formulée par la « théorie de la mesure », et difficile à traiter sur le même plan que la simple évolution du système microphysique.

Le point commun entre toutes les composantes de la méthode de modélisation cybernétique est l'approche fonctionnelle. Celle-ci provient de l'existence de deux modèles mathématiques des systèmes dynamiques : le modèle différentiel et le modèle fonctionnel.

Le modèle différentiel basé sur le concept de variables d'état et d'espace de phase, met en œuvre l'appareil mathématique de la théorie des équations différentielles. Ce modèle reflète les processus qui se déroulent dans le système dynamique et tire son

origine du déterminisme de Laplace et des succès de la mécanique céleste.

Le modèle fonctionnel, représente le système dynamique comme une « boîte noire » transformant des données d'entrée en données de sortie. Ce modèle peut refléter l'ignorance que l'on a des détails du système ou bien une volonté de simplification. Une telle approche utilise les méthodes du calcul opérationnel fondé par Heaviside et tire son origine de la télégraphie, de l'électrotechnique, de la régulation automatique et du contrôle, ainsi que de l'étude des systèmes avec recherche et apprentissage.

Dans le modèle fonctionnel on peut mettre au premier plan l'aspect fonctionnel de parties du système et des interactions entre ces parties. Chaque partie est elle même une « boîte noire » transformant les actions subies en actions sur les autres parties.

Le comportement du système dynamique est alors décrit comme un processus de transformation couplée de l'information.

Le modèle fonctionnel peut à juste titre être désigné comme le modèle cybernétique. Dans ce modèle la fonction prime sur la structure matérielle. Une même fonction peut être réalisée par différentes structures. Tout comme le vol peut être accompli par un oiseau ou un avion.

L'étude du lien entre le modèle différentiel et le modèle cybernétique est un des objectifs les plus importants de l'étude de tout système dynamique ouvert complexe.

Dans « Esquisse d'une sémiophysique » René Thom fait justement écho à cette problématique (p. 46) :

« Le problème de trouver une liaison entre le formalisme cybernétique et le formalisme différentiel de la dynamique devrait être (à nos yeux) la tâche essentielle d'une Philosophie Naturelle.....Mais la causalité s'exprime difficilement en formalisme dynamique, parce que la dynamique ne traite exactement que des systèmes isolés, alors que l'essence du diagramme cybernétique est de traiter les actions d'un système sur un autre.... C'est je crois du côté du formalisme de la Théorie des Catastrophes qu'il faut regarder pour aller vers une synthèse. »

En fait pour la cybernétique, à la différence d'une grande partie de la physique, tous les systèmes sont ouverts sur leur environnement, et l'on doit décrire à la fois le système physique et son environnement (éventuellement l'observateur). C'est là le dogme central de la cybernétique, où un système cherche à gagner une autonomie dans une situation où il n'est pas isolé, mais utilise en feedback l'information sur son propre comportement et sur les modifications du milieu extérieur que ce comportement entraîne. La cybernétique introduit le sens en physique. La cybernétique est une sémiophysique.

Les concepts fondamentaux et les outils de la cybernétique.

A défaut de phénomènes nouveaux, de théorèmes fondamentaux ou d'équation générale, la cybernétique a contribué à populariser certains concepts et à intégrer dans la culture des thématiques scientifiques qui paraissaient jusqu'alors très académiques.

Elle a sorti la logique moderne et les langages formels de leur isolement lorsqu'ils se cantonnaient à l'étude du fondement des mathématiques, à l'élucidation des mécanismes du raisonnement ou à l'axiomatisation des théories. Elle en a fait des outils puissants pour la manipulation des systèmes complexes, en particuliers les systèmes informatiques. Elle a popularisé la logique en la rendant opératoire dans des problèmes concrets de contrôle, où interviennent des concepts de calculabilité et d'algorithme. Ce faisant elle a contribué à façonner une nouvelle vision du monde où les systèmes sont définis par des relations abstraites, des dépendances fonctionnelles et des flux d'information, plutôt que par leur composition matérielle. Une vision à laquelle l'art abstrait a largement contribué jouant là un rôle pionnier tout à fait remarquable. Car, tout comme l'art abstrait, la cybernétique s'intéresse aux propriétés des systèmes

qui ne dépendent pas de leur composition matérielle concrète. Ceci permet de décrire avec les mêmes concepts des systèmes physiquement très différents, en établissant entre eux des isomorphismes abstraits, qui sont à la base même de l'activité principale de la cybernétique, une activité de modélisation et non pas de représentation du réel.

A la différence des mathématiques, la cybernétique est caractérisée par une démarche constructive. C'est une science de la modélisation, ce qui implique la calculabilité de tous les éléments du modèle mathématique. Ceci entraîne souvent l'emploi d'approximations avec discrétisation des variables, ce qui explique le succès des modélisations utilisant le concept d'automate fini.

En s'intéressant au comportement des systèmes et non pas à leur structure matérielle, la cybernétique développe des concepts relationnels pour l'étude des systèmes ouverts.

Le système cybernétique est un modèle abstrait de système ouvert, défini par :

les entrées
les sorties
l'état interne du système,
qui permet de prévoir les sorties en fonction des entrées, grâce à
une fonctionnelle de sortie,
qui se modifie sous l'action des entrées (contrôle) selon une
fonctionnelle de transition,
qui peut être déduit à partir des sorties (observabilité).

C'est là la fameuse « boîte noire », l'automate mathématique, outil de base de la modélisation cybernétique. L'automate mathématique, abstraction d'un automate concret, est promu par la cybernétique au rang de modèle universel. Elle considère en particulier l'automate fini, comme la structure commune à tout système, qui opérant à des temps discrets, change d'état interne en recevant des signaux par un canal d'entrée et en émettant des signaux par un canal de sortie, états et signaux étant en nombres finis. La nature des états et des signaux est quelconque ; on peut

les considérer comme des symboles (lettres) formant des alphabets : alphabet des états, alphabet des entrées, alphabet des sorties. La machine de Turing, les neurones formels ou les automates cellulaires sont des cas particuliers d'automates abstraits, souvent utilisés en réseaux.

Ce concept de boîte noire marque bien le rapport historique et méthodologique que la cybernétique entretient avec le béhaviorisme psychologique et son avatar récent le fonctionnalisme. La cybernétique est une doctrine béhavioriste généralisée.

Le concept que la cybernétique a le plus contribué à populariser est celui de feedback ou rétroaction, au point même d'assimiler la cybernétique à la rétroaction. Il s'agit là d'une action que le signal de sortie peut exercer sur le signal d'entrée et donc sur le fonctionnement même du système. Celui ci peut donc être contrôlé et régulé par le signal de sortie. Ce retour d'information peut s'effectuer physiquement en dehors du système ou à travers le système. Ce dernier cas est le plus intéressant car il ouvre au système des possibilités de stabilité et de comportement régulier tout à fait remarquables. Mais la modélisation de tels systèmes est souvent délicate, car l'identification des caractéristiques physiques du feedback reste souvent difficile.

Le feedback est essentiel dans le fonctionnement des régulateurs comme le célèbre régulateur à boules de Watt. Dès le XIX ème siècle les travaux de Maxwell, Vichnegradsky et Stodola ont montré le rôle simultané du feedback et du frottement (dissipation) dans ces dispositifs essentiels pour une civilisation de la machine.

Le théoricien russe Andronov a montré en 1928 le rôle joué par le feedback dans un modèle universel : l'autooscillateur. Le feedback y assure une compensation de l'énergie perdue par dissipation, permettant au système de s'installer dans un régime dynamique stable (cycle limite de Poincaré). Des émetteurs radio aux lasers, des horloges aux instruments de musique, des battements du cœur aux émissions hormonales, les autooscillateurs manifestent partout la fertilité du couple dissipation-rétroaction.

Les autooscillations constituent un paradigme fondateur du concept général d'autoorganisation, promu par la cybernétique au rang de concept central dans l'explication de l'apparition de l'organisation et des formes. La cybernétique se situe ainsi au cœur de la dialectique entre l'ordre et le désordre, l'organisation et le désordre. Mais ce sont des disciplines précises comme la théorie des systèmes dynamiques ou la théorie des processus irréversibles qui démonteront à partir des années 70 les rouages de cette dialectique.

C'est que la cybernétique dans son aspiration à la généralité se heurte à la difficulté de certaines formulations physiques précises. C'est ce qui se produit avec le feedback, car étudier les modifications de l'environnement du système de par le fonctionnement même de ce système est une tâche concrètement ardue. C'est cette difficulté (physique et mathématique) qui bloque le progrès de nombreux domaines scientifiques en s'opposant à l'élaboration de modèles significatifs. Ceci est particulièrement vrai pour l'étude des systèmes vivants. Mais c'est déjà le cas dans des situations aussi banales que le violon ou la trompette, où l'on peine à identifier la rétroaction essentielle qui gouverne leur usage.

La cybernétique : une doctrine de l'état et non pas une description de l'être.

Répetons le, la cybernétique est une approche fonctionnelle des systèmes physiques ouverts. Dans ce cadre le système physique est étudié non pas du point de vue de sa constitution interne ou des particularités du substrat qui le sous-tend, mais du point de vue de son fonctionnement, c'est à dire de ses liens avec le milieu qui l'entoure. On peut alors trouver entre des systèmes très divers, indépendamment de leur constitution, des analogies de fonctionnement.

Cette approche fonctionnelle va donner un statut précis au concept d'état du système physique. Elle introduit en effet une distinction entre le comportement externe et le comportement interne du système. Le système dynamique est conçu comme une transformation dynamique des entrées dans les sorties. Ceci est représenté par un diagramme fonctionnel, la fameuse boîte noire. Ce diagramme fait ressortir que l'on s'attache uniquement à ce stade là, à l'aspect transformation des entrées dans les sorties, sans considérer le mécanisme correspondant (caché dans la boîte noire) soit délibérément, soit par ignorance.

La représentation de cette transformation entrées-sorties peut parfois se faire de façon directe, en formulant une relation mathématique entre les entrées et les sorties. Cette relation exprime d'une manière phénoménologique une fonction du système physique. C'est le cas par exemple de la fameuse loi d'Ohm du courant électrique qui traverse une résistance, qui est caractérisée par un coefficient constant, ou de la loi d'amplification du courant qui traverse un amplificateur.

Cette relation mathématique directe entre l'entrée et la sortie est particulièrement intéressante lorsque le signal d'entrée et le signal de sortie peuvent être représentés en utilisant des signaux élémentaires très simples, comme des signaux périodiques ou des signaux très brefs (impulsions). Il y a alors entre l'entrée et la sortie des relations mathématiques très riches qui portent des noms bien connus des radioélectriciens et des opticiens : convolution, transformation de Fourier, transformation de Laplace... De telles relations se formulent entre une image (sortie) et une source (entrée) dans bien des domaines de l'optique (Optique de Fourier).

Mais une telle représentation directe de la relation entre les entrées et les sorties n'est pas toujours possible, soit pour des raisons de principe, soit à cause de la complexité et de l'inconfort de sa formulation. On doit alors avoir recours à une description « explicite » de l'évolution temporelle à l'intérieur de la boîte noire. C'est le rôle dévolu à la définition de « l'état ».

L'état est un ensemble de variables internes suffisamment riche pour évoluer dans le temps selon des équations qui ne font intervenir à chaque instant que la connaissance de l'état à cet

instant. Cette autonomie de l'état par rapport à l'histoire du système est essentielle. L'état doit contenir toute la mémoire utile du système.

Mais que l'on comprenne bien le sens et le rôle ici du concept d'état.

Les variables externes- entrées, sorties- sont par définition celles qui sont directement accessibles à l'observation (mesure) ou au contrôle (action sur le système).

Le modèle interne, avec sa notion d'état, n'a pas à priori besoin d'avoir une signification physique directe, et ne sert qu'à calculer les relations entrées-sorties. La connaissance de toutes les entrées et sorties correspondantes décrit totalement le système physique et le concept d'état (et de son évolution) devrait pouvoir se déduire uniquement à partir de l'observation du comportement externe. Les cybernéticiens appellent cela chercher une « réalisation » du système. Une réalisation possible ! Car bien sûr, si nous cherchons à construire ainsi la notion d'état, pour reproduire le comportement externe, il est tout à fait possible, sinon même certain, que la solution ne sera pas unique, et sera difficilement qualifiable « d'état réel du système ». Un modèle est rarement unique. Seule la réalité est unique.

L'état n'est donc pas nécessairement une observable mais une information abstraite permettant de calculer les observables. L'évolution du système dynamique est alors représenté d'une manière abstraite par une trajectoire de l'état dans un espace abstrait approprié.

L'état résulte d'une modélisation fonctionnelle produisant un instrument mathématique utile. C'est un simulacre cybernétique. L'état n'est pas l'être. C'est une information sur le système. Tout changement d'état est un changement d'information, mais pas nécessairement un changement physique du système.

Nous pouvons dire que l'état est un « état d'information » en l'opposant à ce que serait un véritable « état physique ».

Ce que nous décrivons ainsi est bien sûr la situation que présente la mécanique quantique. On y rencontre cette dichotomie entre les observables et l'état qui est un objet mathématique abstrait.

La notion générale d'état en cybernétique (comme d'ailleurs en théorie générale des systèmes dynamiques) est le résultat d'un long glissement qui de la mécanique classique à la mécanique quantique, en passant par l'électromagnétisme, déplace la physique, d'une doctrine des choses à une doctrine des actions. Mouvement que l'on peut mettre en parallèle avec une pensée philosophique qui substitue progressivement la matière phénomène à la matière substrat, la « matière pour nous », connaissable, à la « matière en soi », inconnaissable. Conflit permanent au XX ème siècle entre l'empirisme et le réalisme métaphysique. L'état et l'être.

Mais la démarche cybernétique ne se développe pas uniquement sur fond de physique et de philosophie, elle s'appuie sur des doctrines psychologiques et cognitivistes comme le béhaviorisme et un corpus multiforme de pensées du social et du technique. Le béhaviorisme considère tout phénomène cognitif comme un processus établissant une relation entre un stimulus extérieur et les réactions ou réponses à ce stimulus.

La pensée n'est qu'un langage intérieur dont la description et l'explication purement bio-physico-chimique est trop complexe ou insuffisante et doit être représentée à l'aide d'un concept approprié, celui d' « état mental ». Un état cognitif. L'esprit devient le prédicat d'une substance mais n'est pas lui même une substance. Récurrence de l'hylémorphisme aristotélien dans un schéma où la forme se définit en termes fonctionnels à travers la triade stimuli-états-réponses.

Tout le XX ème siècle est habité par le mythe de la Boîte Noire.

La boîte noire est à la fois une démission devant la complexité et une stratégie volontariste d'appropriation du réel, ne fusse qu'à travers des illusions actives.

La cybernétique tout comme le béhaviorisme psychologique visent à créer une technologie pour l'amélioration de l'homme. L'idée d'une optimisation de l'homme pour compenser le sentiment de son impuissance, signifie en même temps l'abandon de toutes les instances métaphysique habituelles. Car en fait ce n'est pas l'homme que l'on veut optimiser mais son fonctionnement (son rendement ou sa rentabilité, dirons les

méchantes langues). Dans l'Amérique d'après guerre comme dans la Russie soviétique des années soixante, la cybernétique chante les promesses de la paix mondiale et de la santé mentale généralisée, obtenues par un pragmatisme universel (au profit de qui ?).

Car ce qui se joue derrière la boîte noire, c'est le renoncement à la connaissance de la constitution et des caractéristiques internes, au profit de la liberté mathématique offerte par la caractérisation du comportement. Le modèle et le simulacre se substituent à l'objet réel. Les mathématiques ouvrent des espaces de liberté où ce que l'on perd en connaissance de la structure physique est compensé par un meilleur contrôle de l'action. Il y a là un choix stratégique. Gagner en efficacité ce que l'on perd en lisibilité figurative.

D'une certaine manière le XX^{ème} siècle a délibérément choisi la boîte noire.

C'est le signe d'un renversement métaphysique où le discours sur ce qu'est le monde-là (Dasein selon Heidegger), posé devant nous, est remplacé par une stratégie de l'être au monde, exprimant toutes nos possibilités d'action. L'homme de l'époque contemporaine est celui de l'intersection de deux domaines : celui du monde de l'univoque, et celui de l'univers de tous les possibles. L'homme est placé dans une situation inédite : il n'est plus celui qui s'adapte à une réalité qui se présenterait sous une forme déjà pré donnée et face à laquelle il trouverait le langage le plus adéquat pour l'investir et la maîtriser. Il est maintenant le « kybernetes », le pilote et le timonier, celui qui se trouve irrémédiablement engagé dans le réel qu'il s'est ouvert. La cybernétique est à l'image de l'homme contemporain, non pas tant attaché à ce qui pourrait être dit de la constitution ultime d'une réalité extérieure, mais à la constitution d'une réalité qui émerge à travers son action. Une réalité ouverte à laquelle il participe.

Dans ce glissement des choses aux actions, de l'être à l'état, de la structure à l'information, la pensée du XX^{ème} siècle instaure un nouveau réalisme, le réalisme des actions.

Cybernétique et théorie générale des systèmes.

La Théorie générale des systèmes a en commun avec la cybernétique, le champ d'application : les systèmes ouverts complexes, et la nature de la théorie : l'étude de modèles abstraits d'objets réels. Dans les deux cas les systèmes sont étudiés indépendamment du matériel concret qui les constitue. Ceci permet de décrire des systèmes très différents physiquement avec les mêmes concepts, et d'établir ainsi entre eux des isomorphismes structuraux révélateurs. La Théorie générale des systèmes est d'ailleurs née de la reconnaissance d'isomorphismes entre les modèles de circuits électriques et d'autres systèmes.

Ce sont là les raisons qui font souvent réunir cybernétique et théorie générale des systèmes en un même corps de doctrine. Mais il faut bien comprendre que leurs enjeux méthodologiques sont distincts.

Alors que la cybernétique se veut une théorie épistémique formelle, occultant toute description précise de la structure du système, la théorie générale des systèmes se veut une ontologie formelle cherchant précisément à modéliser la structure dynamique du système. Nous avons bien là les deux approches dont parlait René Thom, l'approche cybernétique et l'approche dynamique.

Malgré de nombreux développements formels, la théorie générale des systèmes n'a pas véritablement réussi à se constituer en une théorie avec des résultats spectaculaires. Elle s'est trouvée concurrencée à partir des années 70 par le développement de la théorie des systèmes dynamiques, qui est une théorie qualitative générale des équations différentielles.

De la même façon , la cybernétique, tout en ayant joué un certain rôle dans la compréhension des phénomènes de formation

de structure et d'organisation biologique ainsi que des principes de fonctionnement des êtres vivants, avec ses concepts de régulation, de rétroaction, d'auto organisation, va passer au second plan. Il ne fallait pas s'attendre à résoudre trop de problèmes à l'aide de la seule cybernétique qui est une science trop générale. En s'abstrayant des formes matérielles concrètes, ne pouvant donner des réponses aux questions sur les fondements physiques des interactions et des rétroactions, la cybernétique ne peut remplacer la prise en compte des conditions physiques précises qui règnent dans les systèmes.

Les années 70 voient de ce fait décliner les structuralismes abstraits au profit de théories concrètes dynamiques ou thermodynamiques.

Technologie, Science et Idéologie.

Cherchons à comprendre le rôle du cadre idéologique du phénomène cybernétique en considérant les rapports que la science et la technologie entretiennent en général avec les idéologies.

L'Histoire des Sciences voit s'affronter deux conceptions.

La conception internaliste, qui considère le développement de la Science comme un processus autonome régi seulement par la logique de l'enchaînement des idées scientifiques.

La conception externaliste, qui lie le développement scientifique à l'ensemble des phénomènes sociaux, économiques, idéologiques et intellectuels.

Un point de vue naïf pourrait laisser croire que le développement des techniques relève lui d'un internalisme caractérisé. L'enchaînement des savoir-faire et des pratiques productives rendraient compte de la technologie, qui serait alors, elle même, à l'origine des modes de vie et de pensée. Ainsi, la Révolution Néolithique, quelque huit mille ans avant J.C., résulterait du passage d'une économie de chasse et de cueillette, à

une économie de l'élevage et de l'agriculture, rendue possible par la maîtrise de nouvelles technologies.

En fait, il s'agit d'un saut qualitatif correspondant au passage d'une symbiose avec la nature à une action dirigiste sur celle-ci. Une des toutes premières révolutions cybernétiques en quelque sorte. Le passage de la coexistence à la domination.

On peut se demander si un tel saut n'est pas plutôt la marque d'une évolution idéologique plutôt que d'un développement technologique. C'est ce que suggère Jacques Cauvin, archéologue du Proche-Orient, lorsqu'il écrit:

" La mutation néolithique qui a introduit vers 7800 avant J.C., au Proche-Orient plus tôt que partout ailleurs, la production de subsistance, c'est à dire une économie agricole et un peu plus tard agro-pastorale, a été immédiatement précédée autour de 8000, par un fort ébranlement d'ordre idéologique et symbolique.

A l'art presque exclusivement animalier des chasseurs cueilleurs "natoufiens" des X et IX èmes millénaires, où l'on représentait surtout des gazelles et peut-être des cervidés-daims-, succèdent brusquement deux figures symboliques nouvelles, apparues toutes deux dans la culture "khiamienne" des tout derniers siècles du IX ème millénaire.

L'une est féminine..... L'autre figure symbolique est animale: c'est celle du taureau.

Lorsqu'on retrouve un peu plus tard ces deux figures symboliques dans des contextes plus explicites et mieux conservés, par exemple dans le Néolithique d'Anatolie au VI ème millénaire- Catal Hüyük-, il apparaît évident qu'il s'agit alors des divinités mêmes, Déesse-Femme et Dieu-Taureau, qui se retrouvent dans tout l'Orient et la Méditerranée pré-classiques.

L'émergence en Syrie de ce couple divin à la veille immédiate de l'agriculture fait entrevoir que celle ci a dû refléter dans la pratique une nouvelle conception du monde, mettant fin à des centaines de millénaires de chasse-cueillete."

Syrie. Mémoire et Civilisation
Institut du Monde Arabe et Flammarion. 1993
p 38.

L'ensemble de ces faits incite à réviser l'idée même d'une causalité purement technique de la néolithisation.

Dix mille ans plus tard, notre époque apparaît sous un jour analogue à Martin Heidegger, qui dans : "Qu'appelle-t-on penser ?" écrit:

"Notre époque n'est pas une époque technologique parce qu'elle est une époque de la machine, mais c'est une époque de la machine parce que c'est une époque technologique."

Heidegger envisage ainsi le primat de l'idéologie sur la technique.

Et de fait l'utilisation de la technique ne répond pas nécessairement à un développement interne de celle-ci. De nombreuses civilisations ont disposé de techniques qu'elles n'utilisaient pas ou si peu, faute d'une volonté précise. L'exemple le plus connu est celui de la Chine, qui bien que connaissant la boussole et l'imprimerie, n'en a pas fait l'usage qu'en fera l'Europe de la fin du Moyen-Age. B. Gille parle de "système bloqué" pour la Chine, et passe en revue les raisons possibles de ce blocage. Beaucoup sont d'ordre idéologique. La lecture de J. Needham (Science and Civilisation in China. Vol 2. History of Scientific Thought) suggère le rôle négatif de l'organicisme taoïste et de la féodalité bureaucratique à caractère rural. Le Yi-King, le fameux "Livre des Transformations" est une forme chinoise d'atomisme qui reflète la structure hiérarchisée de la société chinoise. Il en résulte une image de la Nature comme matrice stratifiée, où toute chose a sa place, liée à tout le reste par l'intermédiaire de canaux appropriés.

En face de cette Chine continentale, le Monde Grec des états-cités et de l'expansion maritime, où domine l'idéal individualiste des marchands. Il lui correspond un Atomisme qui préfigure dans

la conception de la Nature, l'atomisme économique de la marchandise dans la société capitaliste naissante.

Dans un très beau livre "Atom and individual in the age of Newton" (Kluwer. 1986), G Freudenthal développe longuement l'histoire sociale du concept bourgeois d'individu et compare ce concept aux propriétés essentielles de la particule dans la pensée de Newton, comparée à celle de Leibniz.

Cette conception capitaliste de la marchandise sera au cœur de toutes les démarches de l'Occident, de la fin du Moyen-Age à nos jours. L'argent marchandise, les matières premières marchandise, les objets fabriqués marchandise, l'énergie marchandise (les sources d'énergie marchandise). Un seul grand problème technique: comment acquérir et transporter la marchandise, comment la stocker et la répartir. Le problème central de la société capitaliste n'est pas tant de produire la marchandise que de la transporter et de la distribuer.

Le XXème siècle vit une transformation essentielle de cette problématique de par l'apparition d'une marchandise immatérielle et impalpable: l'information. Toutes les techniques se coalisent pour créer une Technologie de l'Information. Technologie de l'immatériel apparaissant de concert avec une Science où la Matière s'avère étrangement liée à des phénomènes sans Substance identifiable.

L'époque dite moderne est caractérisée par une domination des conceptions atomistes et des doctrines de l'énergie qui s'y rattachent. Gassendi, l'Atomiste, inaugure une époque matérialiste, dont le destin est scellé dans l'œuvre de Newton.

L'arrivée en force de concepts difficiles à rattacher directement à la matière et à l'énergie, marque dès la fin du XIX ème siècle, le début d'une époque nouvelle, que d'aucuns qualifient de post-moderne. On y assiste à un changement fondamental de système technologique, où le transport des signaux remplace progressivement le transport de la matière (transport des hommes compris).

Ce glissement d'intérêt de la matière vers le signal, s'accompagne d'abord, à la fin du XIX ème siècle et au début du XXème, d'une explosion baroque des conceptions matérialistes.

Elle s'exprime dans l'Art en particulier. Vienne, l'Art Nouveau, Lalique, Fabergé, les Ballets Russes chantent la Matière et les Formes qui s'y incarnent. La Tour Eiffel projette cet état d'esprit vers le Ciel. Marx et Freud sont les chantres de ce matérialisme, enraciné dans une Science et une Technologie, dominées par la Mécanique et la Thermodynamique et fécondées par la Chimie Atomistique.

Un Baroque de la Matière qui d'une certaine façon va lancer des feux durant tout le siècle en renouvelant les matériaux utilisés par la Technologie.

Il y'eut l'Age de la Pierre, l'Age du Bronze, l' Age du Fer. Nous vivons l'Age des Polymères et du Silicium.

Mais derrière tous ces matériaux, c'est le monde du Signal qui s'installe. Un univers du sans objet, où seuls les signes importent. Une culture dominée par l'information multiforme. Le célèbre tableau de Malévich, "Quadrangle noir sur fond blanc" est comme un symbole de ce règne de l'information.

Une idéologie de l'Information.

Toute la science se transforme en s'appropriant ce concept central d'Information.

L'information n'est plus simplement une donnée, mais elle doit être acquise, payée, transmise et exploitée.

Le problème essentiel qui se pose pour l'étude d'un système physique est l'acquisition et l'utilisation de l'information et non plus simplement l'évolution du système.

Ainsi c'est la mise en oeuvre du concept généralisé d'information qui a été à la base d'un renouveau de la mécanique à travers la théorie des systèmes dynamiques. Le moment décisif dans l'élaboration de la théorie si étonnante du Chaos Déterministe, a

été dans la considération des systèmes complexes comme des systèmes riches en information plutôt que déficients en ordre.

La théorie de la Relativité est une théorie de l'information sur l'espace et le temps.

La mécanique quantique est une théorie de l'information sur les systèmes microphysiques. Elle formalise le fait fondamental que l'information n'est pas inscrite par avance mais s'obtient par un processus physique de mesure qui peut perturber l'information déjà acquise. Tous les processus de mesure ne sont pas nécessairement compatibles entre eux, une mesure peut en perturber une autre et l'information recueillie est soumise à différentes limitations.

Ainsi la Science du XXème siècle privilégie le concept d'Information au dépens du concept de Mouvement. Ce faisant elle contribue à promouvoir une Idéologie de l'Information.

Succédant à une vision mécaniste (et atomistique) du monde, où la Nature, bonne fille, dévoile ses charmes inépuisables dont l'Homme cherche à s'emparer, apparaît une vision d'un monde complexe qu'il faut décrypter. La Linguistique se substitue au Mécanisme. Le XXème siècle, pour certains, se caractérise par ce "tournant linguistique".

C'est cette idéologie là qui pousse en avant la Technologie de cette fin de siècle. Cela résulte d'un choix social, où la Technologie veut incarner la part du rêve collectif. Dans la mesure où l'Histoire a porté les sociétés contemporaines vers un idéal de distribution des biens consommables, l'Information et la Signification semblent des biens plus faciles à diffuser. De toute façon l'Homme a toujours été grand consommateur de Symbole, ce qui est même sans doute son caractère spécifique. Même la manipulation de la matière reste chez lui hautement symbolisée. C'est dans ces conditions que la physique quantique, après avoir contribué à la constitution d'une idéologie dominante, va naturellement contribuer au développement d'une Technologie qui exprime cette idéologie: la Technologie Quantique. Physique Quantique et Technologie Quantique expriment une même idéologie, celle des Signes sans Formes, celle des Formes Informes. Une Idéologie qui se traduit clairement dans l'esthétique industrielle contemporaine.

Dans l'avant-propos du catalogue de l'exposition qui a eu lieu à Paris, au Grand Palais en 1993: "Design, miroir du siècle", on peut lire:

"L'ère mécaniste avait une esthétique structurelle et de ce fait naturelle. L'ouvrage d'art en reste l'archétype. Ses haubanages, ses tirants, ses piles donnaient à voir une construction (une figure) simultanément à une fonction.

La montre et ses rouages, la locomotive à vapeur et ses pistons, la grue et son "mécano", le vélo ... sont des objets autodémonstratifs exprimant de façon exemplaire une construction et son fonctionnement, une esthétique en oeuvre.

La généralisation de l'électronique et de l'informatique, accompagnée d'une miniaturisation constante des composants, engendre un univers de l'occultation où rien ne se voit plus et ne se donne à comprendre. Ce design occulte ("qui est caché sous une sorte de mystère" selon Littré) produit des abstractions, où rien de ce qui circule et de ce qui fonctionne ne prend forme. La forme, dont on voulait aux temps fondateurs et progressistes qu'elle suivit la fonction, ne suit plus rien, même pas la forme... Elle a pris son autonomie. Elle précède plus qu'elle ne procède."

François Barré

C'est la fonction qui tient lieu de forme. La structure abstraite s'impose au dépens des représentations spatio-temporelles. La Technologie et la Science Contemporaines abolissent l'Espace-Temps et la Matière au profit du Signe.

La cybernétique est la culture d'une domination par le signe, qui cherche à développer les technologies qui concourent à ce projet. Elle élabore un modèle universel du contrôle des systèmes ouverts et le met en pratique grâce à l'ordinateur et aux télécommunications.

Cybernétique et mimésis. Epistémologie de la modélisation.

Il faut replacer la cybernétique dans le cadre de l'histoire de l'épistémologie qui lui convient, celui de la mimésis et de la modélisation.

Le mot grec mimésis (en latin imitatio) désigne dans l'histoire des idées l'ensemble des conceptions liant l'activité intellectuelle artistique ou scientifique, à l'imitation de la réalité extérieure. Avec toutes les variations liées aux différentes définitions possibles de la notion d'imitation.

Pour Démocrite la mimésis était l'imitation de la manière dont fonctionne la nature. Il voyait dans cette imitation l'origine de l'art : dans le tissage nous imitons l'araignée, dans la construction l'hirondelle, dans le chant le cygne ou le rossignol. Un type d'imitation concernant principalement les « arts industriels ».

C'est ce que nous rapporte Plutarque, qui écrit :

« Démocrite montre et prouve que nous avons nous mêmes été leurs (les bêtes) apprentis et disciples dans les choses principales dont nous avons affaire : comme de l'araignée en la tisserie et couture, de l'hirondelle en l'architecture, du cygne et du rossignol en la musique, l'ayant apprise à les imiter »

Quels animaux sont les plus avisés 20, 974 A

Les Présocratiques. p 883. Démocrite B CLIV.

Pour Socrate, Platon et Aristote, la mimésis était la copie de l'apparence des choses. Une conception développée essentiellement par la considération de la peinture et de la sculpture. Cette conception qui fait de l'imitation le ressort

fondamental des arts plastiques, va devenir pour des siècles la théorie de l'art dominante.

Avec cependant une différence entre la conception de Platon et celle d'Aristote.

Dans la République, Platon définit l'imitateur comme producteur d'images et l'oppose au producteur de la réalité. Selon lui, l'imitation artistique est une double tromperie, car les objets matériels n'étant que les reflets de vrais objets existant dans le monde idéal, la représentation de ces reflets par l'artiste n'est donc que l'imitation d'une imitation. Ce n'est pas une voie d'accès à la vérité. Pour Platon l'art est une véritable copie fidèle de la réalité. Une conception particulière liée sans doute à la peinture illusionniste de l'époque, et qui ressurgira au XIX^e siècle sous le nom de « naturalisme ».

Pour Aristote l'art est imitation de la réalité, non pas au sens d'une copie fidèle, mais à celui d'une démarche libre et personnelle.

Plus tard on se référera plus souvent à Aristote, tout en gardant à l'esprit la conception simpliste de Platon, et en mélangeant tant soit peu les deux points de vue.

De la mimésis, l'art va retenir l'idée de l'imitation de la forme, avec la copie comme version extrême. Alors que la science et la technique illustreront plus souvent une pratique de l'imitation du comportement, que l'on pourrait désigner par le terme de simulation.

Une histoire parallèle et croisée de ces deux aspects de la mimésis constituerait le cœur du dialogue incessant entre l'art et la science autour de leur problématique commune de la représentation et de la modélisation. Il ne s'agit pas dans les deux cas, même si l'illusion a pu en prévaloir, d'une copie plus ou moins exacte du monde tel qu'il est. Mais bien toujours d'une construction qui se confronte avec le monde. Confrontation visible dans la parenté profonde entre les catégories de l'esthétique et les catégories de l'épistémologie. Avec toujours, qu'on le veuille ou non, un souci commun de la vérité. Comme l'écrivait Cézanne à son ami Emile Bernard (29/10/1905) : « Je vous doit la vérité en peinture, et je vous la dirai ».

Au XX^o siècle l'art et la science ont simultanément renoncé à l'interprétation de la mimésis comme figuration des apparences visuelles et se sont engagés dans des voies abstraites.

L'art abstrait, tout comme la cybernétique, sont des moments de cette mutation de la mimésis.

Une mutation qui s'annonce en art dès le romantisme et le Symbolisme. Une mutation qui s'opère dans la philosophie allemande depuis Kant, et va dominer la philosophie de la physique à la fin du XIX^o siècle, avec Kirchhoff, Helmholtz et Hertz.

L'aboutissement d'une longue pratique de la modélisation scientifique, dont la nature a toujours été l'objet de discussions et de points de vue divergents.

Modélisation

La modélisation est la reproduction de caractéristiques d'un objet sur un autre objet spécialement conçu pour leur étude. Ce nouvel objet est appelé modèle. Le besoin de modélisation apparaît lorsque l'étude directe d'un objet est impossible, difficile, chère ou trop longue.

Entre le modèle et l'objet il doit exister une certaine similitude. Celle ci peut consister en une similitude des caractéristiques physiques, en une analogie de fonction ou en une identité de la description mathématique du comportement.

La représentation de la connaissance a de tout temps fait appel à la modélisation. Rétrospectivement on peut en effet appeler « modèle » tout schéma de compréhension, une philosophie, un système ou une théorie. Mais ni Ptolémée, ni Copernic, ni Galilée, ni Newton, ni Darwin, ni Marx n'ont appelé leurs interprétations ou leurs théories des modèles. La formulation explicite du concept de modèle en science n'apparaît que vers la fin du XIX^o siècle (Maxwell, Boltzmann, Duhem) et l'emploi délibéré de la modélisation est caractéristique de la seconde moitié du XX^o siècle dans le cadre de la cybernétique et de l'informatique. La simulation informatique (ex. simulation de Monte-Carlo) comporte en général une démarche modélisatrice.

Modèle.

Le modèle est une représentation de la connaissance que l'on possède sur un objet ou un phénomène. C'est un intermédiaire entre moi et le monde, au même titre que les déterminations que l'esprit impose aux choses. C'est une construction aux prises avec les deux attitudes fondamentales de l'épistémologie : le réalisme et l'instrumentalisme. Pour les besoins de la représentation le modèle épouse les avatars de la mimésis. Ce faisant l'histoire de la notion de modèle est ancienne et multiforme.

On peut distinguer cinq champs de signification du mot modèle selon les vicissitudes historiques et les racines étymologiques grecques et latines. La signification commune est celle de comparaison, de similitude et de représentation.

- 1) En grec *metron* et en latin *modus, modulus* signifient mesure. On désigne par là à la fois les unités de mesure, les instruments de mesure et les éléments de référence architecturaux.
- 2) En grec *typos* et en latin *forma* désignent la forme, la figure, le moule.
- 3) Le grec *paradeigma* et le latin *exemplar*, désignent des représentations à échelle réduite de bâtiments de bateaux ou de machines. Mais le mot peut aussi avoir un sens abstrait. Ainsi Aristote qualifie l'idée platonicienne de *paradeigma*. Elle est effectivement un modèle abstrait (original) d'une chose réelle.
- 4) En grec *idea, eidos, eidolon, eikon* et en latin *imago* et *simulacrum* couvrent un vaste champ sémantique correspondant essentiellement au mot image et en anglais *picture, shape, form, pattern*.
- 5) Représentation plastique, en cire par exemple.

La polysémie de la notion de modèle apparaît dans la variété des adjectifs accolés au mot modèle : modèle phénoménologique, modèle matériel, modèle computationnel, modèle de développement, modèle explicatif, modèle d'essai, modèle idéalisé, modèle théorique, modèle réduit, modèle heuristique, modèle caricatural, modèle didactique, modèle jouet, modèle imaginaire,

modèle mathématique, modèle de substitution, modèle iconique, modèle formel, modèle analogique, modèle cybernétique et bien d'autres.

Dans la pratique l'usage du modèle se signale par des termes du langage ou par des figures de langage (tropes). Le modèle peut être « comme la réalité » ou bien encore « comme s'il était la réalité ». Le modèle comporte souvent dans sa constitution une analogie ou une métaphore. Le modèle peut accomplir une simulation ou un simulacre.

Un modèle peut être physiquement réalisé ou réalisable (modèle matériel) ou garder un caractère abstrait, mathématique par exemple (modèle formel). Un modèle formel est une structure syntactique, alors qu'un modèle matériel a un caractère sémantique, car il fait référence à des entités réelles ou imaginaires.

Le rapport entre modèle et théorie est difficile à préciser. Le plus souvent le modèle est considéré comme une simplification de la théorie qui permet de comprendre celle-ci. Une pré-théorie même. Mais bien souvent modèle et théorie sont de nature différente, le modèle décrivant la réalité en termes de catégories de la connaissance, la théorie ayant l'ambition de présenter la réalité telle qu'elle est. La théorie se veut avant tout réaliste. C'est ainsi que le modèle va faire intervenir ou mettre en valeur des concepts qui ne sont pas directement observables et sont le fruit de notre analyse cognitive. C'est le cas de la cause ou de l'information et même en un certain sens de la probabilité. Le modèle est une interprétation de la nature avec une finalité explicative. Il appartient à l'épistémologie, alors que la théorie ambitionne l'appartenance à l'ontologie. Ce caractère épistémologique du modèle apparaît clairement dans deux formes privilégiées de modélisation : la simulation et le simulacre.

De nombreux auteurs soulignent le caractère non-mimétique du modèle, son aspect de fiction et son autonomie, ce qui l'apparente fortement au simulacre. C'est le cas de Nancy Cartwright ou de Kendall Walton qui dans son ouvrage 'Mimesis as make-believe' développe une théorie du faire semblant qui a toutes les caractéristiques du simulacre.

Simulation.

« Dissimuler est feindre de ne pas avoir ce qu'on a. Simuler est feindre d'avoir ce qu'on a pas. L'un renvoie à une présence, l'autre à une absence. » (J. Baudrillard).

La simulation laisse croire à une présence au moyen de signes qui font illusion. Simuler une maladie, simuler la folie, c'est en produire les symptômes dans une situation où les phénomènes réels sont absents. L'engendrement sur ordinateur des événements mathématiques correspondant à des événements ou des formules constitue une simulation des phénomènes physique réels que ces expressions mathématiques représentent. La simulation réalise la mimésis au sens courant de l'apparence des choses. Elle n'est qu'apparence de la réalité. Une représentation de la réalité. Elle est comme la réalité. Elle représente un processus par un autre processus, un processus physique par un processus mathématique. La simulation n'est pas une image trompeuse mais une interprétation formalisée de la réalité.

Simulacre.

Le simulacre c'est feindre de faire ce que l'on ne fait pas. Le simulacre remplace la réalité par une réalité différente qui semble se comporter de la même manière. Un simulacre d'exécution est un comportement semblable à celui d'une exécution mais ne représente pas une exécution réelle. Alors que la représentation d'une exécution par l'image relève de la simulation.

Le simulacre met en jeu la mimésis au sens de l'imitation du comportement dans son déroulement ou ses accomplissements. Un tissu est un simulacre de toile d'araignée, tout comme la méthode de Monte Carlo est un simulacre du phénomène réel utilisant une simulation d'un phénomène aléatoire. L'astronomie de Ptolémée est un simulacre du mouvement des planètes. Le simulacre est un « Comme si » parfait. La cybernétique est le règne du simulacre.

De fait le mérite de la cybernétique est d'avoir mis en vedette le rôle du simulacre dans la physique et les sciences. Dans un ouvrage qui fait date, 'How the laws of physics lie' un auteur comme Nancy Cartwright peut affirmer que le rapport entre modèle et réalité en physique doit être entendu en terme de

simulacre. Le simulacre étant quelque chose qui n'a que la forme ou l'apparence de la chose sans en avoir la substance ou les qualités propres. Le succès des modèles théoriques n'a en général rien à voir avec leur exactitude descriptive telle que la concevrait le réalisme. La cybernétique remplace une conception mimétique stricte de la science comme miroir de la nature par une conception constructiviste du fonctionnement de la nature, mettant en jeu le simulacre.

Le simulacre: une recette séculaire pour sauver les phénomènes.

Le système de Ptolémée et dix siècles de débats sur les conceptions de l'Astronomie.

La dispute entre réalisme scientifique² et instrumentalisme³, qui constitue le fond du problème des modèles et des simulacres, a commencé lorsque la théorie des mouvements célestes d'Eudoxe a été remplacée par la théorie d'Aristote. Aristote objectait à Eudoxe que sa théorie était fondée sur des mouvements qui ne

² Le réalisme scientifique est une attitude ontologique et épistémologique affirmant qu'il existe une réalité indépendante de tout observateur (réalisme) et que les théories scientifiques, même lorsqu'elles s'aventurent au delà de l'observable, se réfèrent (référence) à cette réalité.

Différentes doctrines ou attitudes sont opposées au réalisme scientifique (anti-réalisme). On peut les qualifier d'idéalistes, mais sans être nécessairement opposées à l'existence de la chose en soi, elles nient toutes la possibilité d'une telle connaissance. Citons l'empirisme, le phénoménalisme, l'instrumentalisme, le conventionnalisme et le constructivisme.

³

Attitude épistémologique affirmant que les théories scientifiques ne décrivent pas la réalité, à supposer même qu'elle existe, mais ne sont que des constructions permettant de regrouper et de prévoir les phénomènes. Une théorie n'est qu'un instrument pour de bonnes prédictions. Elle n'est pas une carte. Elle n'est pas une explication. Les termes de la théorie ne sont pas des objets physiques réels, même s'ils en ont l'apparence. Toute interprétation réaliste des termes théoriques est écartée en vertu de la thèse de sous-détermination de Duhem-Quine*, selon laquelle aucun terme théorique ne peut être déterminé d'une manière unique par les données empiriques.

L'instrumentalisme s'oppose au réalisme scientifique qui voudrait qu'une théorie fournisse aussi des explications et des images du monde. Au nom de l'instrumentalisme, Berkeley considérait que les forces dans la mécanique de Newton étaient analogues aux épicycles de Ptolémée, et Mach ne croyait pas à la réalité des atomes et des molécules.

pouvaient être les véritables mouvements célestes. Il remplaça les différents mécanismes d'Eudoxe par un seul, comportant 65 sphères cristallines concentriques autour de la terre. La théorie d'Aristote, quoique équivalente à celle d'Eudoxe au point de vue de la reproduction des mouvements apparents des planètes et des étoiles, s'imposa, car Aristote sût convaincre qu'une théorie réaliste devait prendre le pas sur une théorie instrumentaliste. Aristote pensait avoir créé un modèle alors qu'Eudoxe n'avait produit qu'une simulation.

Nous allons insister longuement sur cette éternelle polémique entre le réalisme et l'instrumentalisme. Pythagore et Platon sont d'une certaine façon les pères de l'instrumentalisme, à cause de leur esprit mathématique, alors qu'Aristote serait le père du réalisme, à cause de son esprit physique. Toute la Science est comme coincée dans cette opposition entre Platon et Aristote. Comme un récit à épisodes de cette guerre des chefs. Mais il faut se pénétrer de toutes ces péripéties pour pouvoir apprécier l'enjeu de la bataille. A moins que comme le disait le philosophe Alain : " On se fatigue d'être platonicien. C'est ce que signifie Aristote".

Le rôle joué par la tradition platonicienne dans la démarche de l'Astronomie, est exprimé par Simplicius, philosophe néo-platonicien du VIème siècle:

" Platon admet en principe que les corps célestes se meuvent d'un mouvement circulaire, uniforme et constamment régulier; il pose alors aux mathématiciens ce problème: Quels sont les mouvements circulaires uniformes et parfaitement réguliers qu'il convient de prendre pour hypothèses, afin que l'on puisse sauver les apparences présentées par les planètes".

Il s'agit de reproduire les phénomènes et non pas d'expliquer comment ils se sont produits. C'est ce que regrettait déjà Aristote quand il disait:

"Mais les mathématiques sont devenues pour les modernes toute la philosophie, quoiqu'ils disent qu'on ne devrait les cultiver qu'en vue du reste".

Aristote est partisan de la modélisation, alors que le recours premier aux mathématiques encours le risque du simulacre.

C'est ainsi qu'a procédé Claude Ptolémée pour bâtir sa théorie astronomique. Il donnait la préférence aux mathématiques devant la théologie et la physique, comme il le dit lui même dans son oeuvre astronomique : l'"Almageste". Aussi construit-il un système compliqué de mouvements circulaires uniformes asservis les uns aux autres (le centre de chaque cercle se déplaçant sur un autre cercle), avec pour seul but de reproduire le mouvement des planètes. Mais il ne croit pas à la réalité de ces mouvements circulaires. Dans son ouvrage célèbre : "Pour sauver les phénomènes. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée", Pierre Duhem commente ainsi la doctrine de Ptolémée et la doctrine de Proclus qui adopte celle de Ptolémée.

"Les diverses rotations sur des cercles concentriques ou excentriques, sur des épicycles, qu'il faut composer pour obtenir la trajectoire d'un astre errant sont des artifices combinés en vue de sauver les phénomènes à l'aide des hypothèses les plus simples qui se puissent trouver. Mais il faut bien se garder de croire que ces constructions mécaniques aient dans le Ciel, la moindre réalité."

" Les artifices géométriques qui nous servent d'hypothèses pour sauver les mouvements apparents des astres ne sont ni vrais ni vraisemblables. Ce sont de pures conceptions que l'on ne saurait réaliser sans formuler des absurdités? Combinés dans l'unique but de fournir des conclusions conformes aux observations, ils ne sont point déterminés sans ambiguïté. Des hypothèses fort différentes peuvent conduire à des conséquences identiques qui sauvent également les apparences. D'ailleurs ces caractères de l'Astronomie ne doivent pas étonner. Ils marquent simplement que la connaissance de l'homme est bornée et relative, que la science humaine ne saurait rivaliser avec la science divine".

Et Duhem de s'exclamer :

"Elle (cette doctrine) est bien loin de l'ambitieuse physique qui en la Métaphysique (d'Aristote) prétend spéculer si profondément sur l'essence des choses célestes qu'elle parvienne à fixer les principes essentiels de l'Astronomie. Par plus d'un point, il serait permis de la rapprocher du Positivisme; dans l'étude de la Nature, elle sépare, comme le Positivisme, les objets qui sont accessibles à la connaissance humaine de ceux qui sont essentiellement inconnaissable à l'homme..."

Pour Duhem toute l'astronomie ancienne était une entreprise "instrumentaliste", où les modèles astronomiques n'étaient que des fictions convenables, des instruments mathématiques utiles pour prédire les positions des planètes sans aucune vérité physique. S'opposant par là à la conception "réaliste" où les modèles astronomiques représentent la réalité physique et répondent à des critères physiques.

Instrumentalisme-simulacre contre Réalisme-modélisation.

Pour des raisons militantes, Duhem a exagéré la situation dans l'astronomie ancienne. Il y eut des oppositions et des critiques de la part des astronomes et des philosophes arabes, surtout en Espagne. Averroes (Ibn Rushd) en particulier a sévèrement critiqué le système de Ptolémée parce qu'il ne nous dit rien sur la réalité physique, et demandait un retour aux sphères concentriques d'Aristote. Fidélité de l'aristotélicien.

Lévi Ben Gerson (Gersonide) (1288-1344), le grand savant et philosophe juif provençal, partage cette attitude, car pour lui rien n'a de signification sauf la connaissance du monde tel qu'il est véritablement. Au début du premier chapitre de son Astronomie il écrit:

"Nous avons constaté que même ceux parmi les mathématiciens qui ont fait des recherches appropriées en cette science se sont contentés de trouver un système astronomique duquel les observations peuvent être inférées

approximativement. ils n'ont pas tâché d'élaborer le système astronomique nécessaire selon la vérité".

Et il va essayer de développer ce programme en s'inspirant d'Al Bitruji.

Autour de 1200, l'astronome arabe de Cordoue, Al Bitruji, contemporain d'Averroes, s'était efforcé d'édifier une astronomie selon les principes aristotéliens d'Averroes. Le système d'Al Bitruji, éliminant épicycles et excentriques, se veut en accord avec le calcul tout en se conformant aux principes de la physique d'Aristote. Dans la tradition astronomique médiévale c'est une véritable révolution.

Gersonide se réfère à Al Bitruji comme à "l'auteur de la nouvelle astronomie" et son contemporain Isaac Israeli, l'appelle "l'homme qui par sa théorie a mis en émoi le monde entier".

Les travaux astronomiques de Gersonide lui vaudront la Lune (un cirque y porte son nom) et l'intérêt de Képler au XVII^{ème} siècle.

L'opposition entre l'astronomie ptoléméenne et la physique est généralement conçue au XIII^{ème} siècle dans les termes d'une opposition entre mouvements mathématiques et mouvements naturels. Opposition explicitement utilisée par Guillaume l'Anglais, médecin de Marseille, aux alentours de 1220, pour caractériser l'oeuvre astronomique d'Al Bitruji.

Le simulacre mathématique serait alors comme une seconde Nature. La vraie Nature et la nature Virtuelle. Le Modèle et le Simulacre.

Il faut reconnaître que la Nature Virtuelle a d'éminents défenseurs.

Dans "Le Guide des Egarés" Maïmonide, le plus célèbre des philosophes juifs du Moyen-Age, cantonne l'astronome dans le virtuel:

"Je t'ai déjà expliqué de vive voix que tout cela ne regarde pas l'astronome; car celui-ci n'a pas pour but de nous faire connaître sous quelle forme les sphères existent, mais son but

est de poser un système par lequel il soit possible d'admettre des mouvements circulaires, uniformes et conformes à ce qui se perçoit par la vue, peu importe que la chose soit réellement ainsi ou non".

A l'instar de Maïmonide, Albert le Grand et Thomas d'Aquin, les deux maîtres de la Scolastique et de l'Aristotélisme, défendent Ptolémée, dans un instrumentalisme modéré, en ce sens, que la théorie ptoléméenne (à la différence de la théorie "vraie" dont ils attendent la constitution future) n'est pas conçue comme un ensemble d'énoncés vrais, mais plutôt comme un ensemble de règles de construction des énoncés d'observation.

Thomas d'Aquin écrit:

"Les suppositions que les astronomes ont imaginées ne sont pas nécessairement vraies; bien que ces hypothèses paraissent sauver les phénomènes, il ne faut pas affirmer qu'elles sont vraies, car on pourrait peut-être expliquer les mouvements apparents des étoiles par quelque autre procédé que les hommes n'ont pas encore conçu."

" On peut de deux manières différentes rendre raison d'une chose. Une première manière consiste à établir par une démonstration suffisante l'exactitude d'un principe dont cette chose découle; ainsi, en Physique, on donne une raison qui suffit à prouver l'uniformité du mouvement du ciel. Une seconde manière de rendre raison d'une chose consiste à n'en point démontrer le principe par preuve suffisante, mais à faire voir que des effets s'accordent avec un principe posé d'avance; ainsi, en Astrologie, on rend compte des excentriques et des épicycles par le fait qu'au moyen de cette hypothèse, on peut sauver les apparences sensibles touchant les mouvements célestes; mais ce n'est pas là un motif suffisamment probant, car ces mouvements apparents se pourraient peut-être sauver au moyen d'une autre hypothèse".

De fait l'astronomie de Ptolémée va durer jusqu'à Copernic au milieu du XVI^{ème} siècle. Nicolas Copernic, tout en proposant de mettre le Soleil au centre du système et non plus la Terre, garde la méthode de Ptolémée, en éliminant un certain nombre d'épicycles: il en conserve 34 sur les 79 que comptait la simulation ptoléméenne. Au point que son célèbre ouvrage (posthume): "", paru en 1543, était précédé d'une préface anonyme, que Képler dévoila plus tard être dûe à André Osiander, un théologien luthérien, qui avait peur du scandale que provoqueraient les véritables idées de Copernic. Dans cette préface il s'efforce de rattacher Copernic à la tradition simulatrice:

"L'objet propre de l'astronome, en effet, consiste, à rassembler l'histoire des mouvements célestes à l'aide d'observations diligemment et artificieusement conduites. Puis, comme aucun raisonnement ne lui permet d'atteindre aux causes ou aux hypothèses véritables de ces mouvements, il conçoit et imagine des hypothèses quelconques, de telle manière que ces hypothèses une fois posées, ces mêmes mouvements puissent être exactement calculés, au moyen des principes de la Géométrie, tant pour le passé que pour l'avenir....

Il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies; il n'est même pas nécessaire qu'elles soient vraisemblables; cela seul suffit, que le calcul auquel elles conduisent s'accorde avec les observations.

Il est bien évident que cette science ignore purement et simplement les causes des inégalités des mouvements apparents. Les causes fictives qu'elle conçoit, elle les conçoit pour la plupart comme si elle les connaissait avec certitude; jamais, cependant, elle ne les conçoit en vue de persuader à qui que ce soit qu'il en est ainsi dans la réalité, mais en vue d'instituer un calcul exact. Il peut arriver que des hypothèses différentes s'offrent à celui qui veut rendre compte d'un seul et même mouvement; tels l'excentrique et l'épicycle en la théorie du mouvement du Soleil; alors l'astronome prendra de préférence l'hypothèse qui est la plus aisée à saisir, tandis

que peut être le philosophe recherchera plus volontiers la vraisemblance; mais ni l'un ni l'autre ne pourra concevoir ni formuler la moindre certitude, à moins qu'il n'ait reçu une révélation divine.... Que personne, touchant les hypothèses, n'attende de l'astronomie aucun enseignement certain; elle ne saurait rien lui donner de tel. Qu'il se garde de prendre pour vraies des suppositions qui ont été feintes pour un autre usage; par là, bien loin d'accéder à la Science astronomique, il s'en écarterait, plus sot que devant."

On ne saurait être plus clair. Tout physicien devrait avoir lu ce texte. Tout lecteur doit se persuader qu'il y'a là une antidote essentielle à ce credo populaire qui voudrait que la Science soit nécessairement une Révélation du fond des choses.

De par les efforts de Galilée, de Képler et de Newton on accédera pourtant aux véritables lois du mouvement des planètes. Jetant par là même aux oubliettes le système de Ptolémée et perdant peu à peu la conscience de ce que le débat entre l'astronomie mathématique et l'astronomie physique a été pendant dix siècles le premier grand débat sur la nature de la représentation du monde apportée par la Science. Débat fondateur, qui garde toute son actualité dans la Science Contemporaine, sans donner lieu malheureusement à des mises en garde aussi nettes que celles que nous avons rencontrées en ces siècles intermédiaires. Il en résulte des pratiques et des discours dont le statut est peu clair sinon mystifiant. D'une certaine façon nous nous trouvons dans la même situation épistémologique et philosophique qu'au Moyen-Age. Eternel retour de la grandeur et de la misère de la Science. Einstein pensait à la fin de sa vie qu'il fallait reprendre la Science avant Galilée. Chiche!. De nos jours le débat sur le réalisme scientifique a repris et fait rage.

Terminons cette présentation essentielle par les belles remarques de l'historien des sciences Alexandre Koyré, qui résume toute l'histoire que nous avons racontée..

"Chez Ptolémée lui-même (dans l'Almageste) la réalité des cercles n'est jamais affirmée et ils ne sont que des expédients mathématiques. L'opposition entre mathématiciens et philosophes aboutit finalement à une épistémologie purement pragmatiste et phénoméniste qui, désespérant de pouvoir déterminer les mouvements réels des corps célestes, n'assigne à l'astronomie que la tâche de constituer un système calculatoire lui permettant de prévoir et d'ordonner les phénomènes. La fameuse injonction platonicienne: σωξειν τ α φαινομενα, salvare apparentias, qui, tout d'abord, voulait dire: retrouver la structure intelligible de ce qui apparaît, change de sens et devient la devise d'une science qui renonce à la connaissance de la réalité et s'en tient aux apparences seules. Pour l'histoire de cette discussion entre les "réalistes" et les "positivistes", discussion qui commence dans la science hellénistique avec Proclus et Simplicius, se poursuit dans la science arabe et la scolastique latine et donne lieu à des péripéties et des alliances surprenantes (ainsi les Averroïstes qui nient résolument la réalité des cercles de l'astronomie et adoptent donc, par fidélité à Aristote, une épistémologie phénoméniste *pour les astronomes*, se trouvent être alliés des nominalistes Occamistes qui nient la valeur objective de la science naturelle comme telle au profit non pas d'Aristote, mais de la révélation).

Copernic, bien entendu, ne pouvait pas ne pas être au courant de ces discussions, ceci d'autant moins que Padoue était le centre de l'Averroïsme. Il se peut même que l'attitude des Averroïstes ait renforcé en lui le désir de réformer l'Astronomie en la fondant sur la découverte des vraies lois des mouvements réels. En effet, l'attitude des "positivistes" antiques et médiévaux, dont la doctrine, généralement modernisée et mésinterprétée par les historiens positivistes modernes, ne consiste pas dans *l'adoption* d'un nouvel idéal scientifique mais, vu que l'essence des choses et leurs liens causaux réels demeurent inaccessibles à notre connaissance, dans le *désespoir*, ou la *renonciation* à la possibilité d'atteindre la vérité, soit dans un domaine déterminé du réel,

l'astronomie, soit (les sceptiques et les nominalistes) dans tous les domaines de la connaissance naturelle. Le positivisme antique et médiéval comporte toujours une dévalorisation de la science qui ne traite que des phénomènes (apparences) par rapport à celle qui traite, ou traiterait, du réel. Il est par conséquent, à l'opposé du positivisme moderne, qui nie non pas la connaissabilité, mais l'existence même d'un monde de réalités sous-jacentes aux apparences, et qui se glorifie de son irréalisme".

Un irréalisme logique contre un réalisme illogique. Le choix est délicat .

Le premier simulacre de la Science Moderne. La théorie de la propagation de la lumière selon Huygens et Fresnel.

A peine le problème de l'Astronomie semble définitivement pencher du côté du réalisme, que l'Histoire recommence avec le problème de la propagation de la lumière.

L'idée générale qui, sans être formulée explicitement, dominait l'astronomie de Ptolémée, était celle de la modélisation des mouvements complexes par un ensemble de mouvements simples, les mouvements circulaires. Cette stratégie semble si naturelle qu'elle ne va pas tarder à être à nouveau utilisée.

Au début du XVII^{ème} siècle, le savant hollandais Christian Huygens ne connaît pas la loi du mouvement de la lumière. Celle-ci ne sera connue que deux siècles plus tard grâce à l'établissement des équations de l'électromagnétisme par Maxwell et l'identification de la lumière comme la propagation d'une onde électromagnétique.

Mais il va chercher à constituer ce qu'il considérait au départ comme un "Modèle" de la propagation de la lumière, et qui s'avérera beaucoup plus tard comme un "Simulacre". Laissons lui la parole, dans son beau "Traité de la Lumière" publié en français en 1690.

"L'on ne saurait douter que la lumière ne consiste dans le mouvement de certaine matière.....elle a la vertu de bruler comme le feu, c'est à dire qu'elle désunit les parties des corps; ce qui marque assurément du mouvement au moins dans la vraie philosophie, dans laquelle on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mécanique. Ce qu'il faut faire à mon avis, ou bien renoncer à toute espérance de ne jamais rien comprendre à la physique".

De la même manière que Platon croyait dans la circularité du mouvement des astres et que Ptolémée prit cette hypothèse comme point de départ, Huygens croît en une image mécanique de la nature et va l'utiliser pour décrire la propagation de la lumière.

"....la lumière consiste dans un mouvement de la matière qui se trouve entre nous et le corps lumineux . De plus, quand on considère l'extrême vitesse dont la lumière s'étend de toutes parts.....on comprend bien que, quand nous voyons un objet lumineux, ce ne saurait être par le transport d'une matière, qui depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous ainsi qu'une balle ou une flèche qui traverse l'air...".

Aujourd'hui on a bien l'air de dire que ce sont les "photons" qui accourent jusqu'à nous. Mais entre le photon et une balle, il y'a toute la différence entre un éléphant et une grenouille et c'est peu dire. Mais Huygens a l'intuition juste.

"C'est donc d'une autre manière qu'elle s'étend, et ce qui nous peut conduire à la comprendre, c'est la connaissance que nous avons de l'extension du son dans l'air. Nous savons

que par le moyen de l'air, qui est un corps invisible et impalpable, le son s'étend tout à l'entour du lieu où il a été produit, par un mouvement qui passe successivement d'une partie de l'air à l'autre, et que l'extension de ce mouvement se faisant également vite de tous côtés, il se doit former comme des surfaces sphériques qui s'élargissent toujours et qui viennent frapper notre oreille. Or il n'y a point de doute que la lumière ne parvienne aussi depuis le corps lumineux jusqu'à nous par quelque mouvement imprimé à la matière qui est entre deux, puisque nous avons déjà vu que ce ne peut être par le transport d'un corps qui passerait de l'un à l'autre. Que si avec cela la lumière emploie du temps à son passage, ce que nous allons examiner maintenant, il s'ensuivra que ce mouvement imprimé à la matière est successif et que par conséquent il s'étend, ainsi que celui du son, par des surfaces et des ondes sphériques: car je les appelle ondes, à la ressemblance de celles que l'on voit se former dans l'eau quand on y jette une pierre, qui représentent une telle extension successive en rond, quoique provenant d'une autre cause et seulement dans une surface plane."

"Maintenant, si l'on examine quelle peut-être cette matière dans laquelle s'étend le mouvement qui vient des corps lumineux, laquelle j'appelle éthérée, on verra que ce n'est pas la même qui sert à la propagation du son. Car on trouve que celle ci est proprement cet air que nous sentons et que nous respirons, lequel étant ôté d'un lieu, l'autre matière qui sert à la lumière ne laisse pas de s'y trouver."

L'éther n'est pas l'air. Enlevons l'air pour faire le Vide au sens de Pascal, il reste l'éther. C'est dans cet éther, considéré comme un empilement de billes parfaitement élastiques, que la lumière se propage sous forme d'ondes de proche en proche:

"Il y'a encore à considérer dans l'émanation de ces ondes, que chaque particule de la matière, dans laquelle une onde s'étend, ne doit pas communiquer son mouvement seulement

à la particule prochaine, qui est dans la ligne droite tirée du point lumineux, mais qu'elle en donne aussi nécessairement à toutes les autres qui la touchent et qui s'opposent à son mouvement. De sorte qu'il faut qu'autour de chaque particule il se fasse une onde dont cette particule soit le centre."

Toutes ces petites ondes " concourent en même instant à composer ensemble une onde qui termine le mouvement, (c'est la circonférence qui est leur tangente commune"

Huygens propose ainsi une construction générale permettant d'obtenir la propagation d'une onde circulaire (acoustique, lumineuse...) comme l'enveloppe à ,chaque instant d'une infinité de petites ondes circulaires émises par des sources matérielles situées tout au long du front d'onde à l'instant précédent. Il donne une figure très explicite où apparaissent les sources secondaires et les ondelettes qu'elles émettent.

Huygens voit très bien le caractère géométrique et peu physique de ces ondelettes, puisqu'il remarque que chaque ondelette ne contribue à former l'onde physique réelle que par une infime partie d'elle même, en fait par un seul point. Le reste de l'ondelette se perd..... Il n'y a d'ailleurs pas d'effet rétrograde dû aux parties des ondelettes qui se "propagent" en retour vers la source physique.

Cette construction, dite aujourd'hui, "Principe de Huygens", a dû sembler à Huygens tout à fait naturelle. Elle est en esprit, et un peu en sa forme, très voisine des constructions de l'astronomie de Ptolémée, qui ne sont pas si vieilles. Cercles, sources secondaires. Cela ressemble aux épicycles et à leurs centres.

Huygens fait d'ailleurs de son principe un usage à la Ptolémée. Il retrouve les phénomènes essentiels de l'Optique Géométrique, la seule optique connue en son temps, où interférences et diffraction n'ont pas encore été découverts . Il construit les rayons réfléchis et réfractés à la surface de séparation de deux milieux transparents en accord avec les lois de Descartes. Il définit les rayons lumineux comme les droites qui joignent le centre primaire d'émission de la lumière aux sources secondaires. C'est une construction

mathématique, seul le front d'onde a un sens physique, c.a.d. à un instant donné la surface de tous les points atteints simultanément par la perturbation lumineuse.

L'intérêt du principe de Huygens est de ne pas se limiter à des surfaces d'ondes sphériques, mais de pouvoir considérer des surfaces d'ondes de forme quelconque. ceci semble naturellement s'imposer dans un milieu inhomogène, où l'on peut penser que la lumière ne se propage pas avec la même vitesse dans toutes les directions de l'espace.

C'est là où la théorie de Huygens va obtenir un grand succès, en expliquant la double réfraction du cristal (de spath) d'Islande. posé sur une page écrite, ce cristal laisse voir double, comme si la page s'était dédoublée en glissant sur elle même. Il y'a donc deux rayons réfractés à l'intérieur du cristal, un rayon normal obéissant aux lois normales de la réfraction et correspondant à une surface d'onde sphérique et un rayon extraordinaire correspondant à une surface d'onde elliptique.

La souplesse de la théorie de Huygens est comparable à celle de la théorie de Ptolémée. Les cercles ne suffisant pas on va faire donner les ellipses. Succès total. Un nouveau phénomène, suffisamment étrange, pour être considéré comme crucial (c'est ce que pense Huygens, qui l'écrit à Leibniz), se trouve décrit. Et c'est ce qui fait initialement le succès du *Traité de la Lumière*. Mais curieusement ce succès s'estompe et la théorie ondulatoire de la lumière de Huygens s'efface durant tout le XVIII^{ème} siècle au profit d'une théorie atomistique, la théorie corpusculaire de Newton. Newton s'employa d'ailleurs (de mauvaise foi ?) à discréditer la théorie de Huygens.

Pour Newton le rayon lumineux n'est pas une construction géométrique mais un phénomène physique: la plus petite partie séparable de la lumière, un flot de corpuscules lumineux. La lumière substance contre la lumière mouvement de Huygens.

Dérision de l'Histoire des Sciences, c'est dans ce cadre "inadéquat" que Newton va donner les premières explications des phénomènes de diffraction de la lumière, qui seront considérés au XIX^{ème} siècle (et aujourd'hui encore) comme le domaine par excellence de la théorie ondulatoire.

Dans ses "Observations sur les inflexions des rayons de lumière et les couleurs qui en résultent", Newton utilise le tranchant d'un couteau comme obstacle à la propagation de la lumière. Que la lumière ne se propage pas en ligne droite au voisinage de l'obstacle (ce qui est le phénomène de diffraction) s'explique selon lui par les forces exercées par les bords de l'obstacle sur les corpuscules de lumière passant là. Explication bien newtonienne en termes de forces à distance. La matière exerce une force sur la lumière corpusculaire. Il y'a là comme une diffusion sur un obstacle. Imaginez un flot de petites billes se heurtant à un obstacle et rebondissant dans tous les sens sur ses bords.

Plus tard, bien plus tard, la Relativité Générale enseignera que la Matière incurve les trajectoires de la Lumière qui passe en son voisinage. Mais il ne s'agit pas du phénomène de diffraction, qui en tout état de cause ne dépend pas de la masse de l'obstacle, ce qui est par contre le cas en relativité.

Pour ce qui est de Newton il avait très bien observé un phénomène particulier: le tranchant de la lame du coteau est vivement illuminé, laissant penser que c'est la place où se produit le phénomène de diffraction. phénomène observable dans la vie quotidienne: les bords d'un objet illuminé brillent lorsqu'on les observe depuis l'ombre de l'objet. D'humbles faits, habilement exploités, peuvent être le point de départ de grandes théories. C'est ce que va faire l'anglais Thomas Young au tout début du XIX ème siècle.

La théorie ondulatoire de Huygens n'a pas eu de succès au XVIII ème siècle car elle était beaucoup trop atomiste pour être vraiment ondulatoire. L'onde n'était que la propagation des chocs des particules d'éther de proche en proche et ne présentait aucun caractère de périodicité. Elle ne se distinguait pas ainsi d'une manière essentielle de la théorie de Newton.

**Une nouvelle lumière allait venir de la Musique.
Non sans mal et confusion.**

Pendant deux millénaires, à la suite de Pythagore, la théorie de la musique ne s'intéressa qu'au Nombre. Spéculation sur les propriétés cachées des nombres et peu ou pas d'intérêt pour la nature des mouvements qui donnent naissance aux sons musicaux. Et pourtant l'oscillation des cordes de la lyre était connue depuis l'antiquité. Boèce (VI ème siècle) entre autres en donne une description minutieuse. Lui même d'ailleurs compare les ondes sonores aux ondes que l'on observe sur l'eau après le jet d'un caillou. Combien d'observations justes comme celles ci se perdent dans les tourbillons de l'histoire !

Que la longueur de la corde qui vibre dans un instrument détermine la hauteur du son produit, voilà qui est connu depuis Pythagore. Ce sont Galilée et Mersenne qui au XVII ème siècle ont reconnu que la hauteur du son est reliée à la fréquence de la vibration qui le produit. Mais il faudra attendre le début du XVIII ème siècle pour que l'on mette en rapport précis les phénomènes musicaux avec les phénomènes physiques des vibrations.

En 1722 encore, dans son "Traité d'Harmonie", Rameau déclare: "La musique est la science des sons" et ne peut nous être connue que "par le secours des mathématiques". En 1737, dans son maître ouvrage " La Génération Harmonique" il a changé d'avis: " La musique est une science physico-mathématique; le son en est l'objet (physique) et les rapports trouvés entre les différents sons en font l'objet mathématique. Sa fin est de plaire et d'exciter en nous diverses passions". A la physique revient l'étude du son, aux mathématiques celle des rapports d'intervalle.

Rameau entre temps avait pris connaissance des travaux de Joseph Sauveur, parus en 1701: "Principes d'acoustique et de musique.....". Tout comme Newton d'ailleurs, entre la première édition des Principia (1687) et la seconde (172). Ces travaux étaient longtemps restés connus dans le seul monde fermé des physiciens.

Le mérite de Sauveur est d'avoir découvert et compris que l'addition de deux sons de hauteurs (fréquences) voisines produit des battements: on entend le son effectuer des pulsations périodiques. Le son enfle, décroît, enfle à nouveau. Sauveur comprit que le nombre de pulsations que l'on entend par seconde est égal à la différence des fréquences des deux sons initiaux.

Compter les battements, c'est mesurer la différence des fréquences. C'est en définitive mesurer les fréquences. D'où la méthode utilisée par les accordeurs d'instruments de musique: on cherche à supprimer les battements que l'on entend en superposant la note produite avec une note de référence. Saint Sauveur, patron des Accordeurs.

Sauveur expliquait les battements sonores par l'addition des deux sons, mais tout en constatant les renforcements et les affaiblissements sonores qui en résultaient, il se bornait à représenter le son à l'aide de pulsions discontinues et non comme une onde périodique. La prégnance et la force des représentations atomistiques se manifeste encore là, comme chez Huygens.

La destruction de l'effet sonore par la rencontre de deux sons avait été remarquée dès 1673 pour une corde vibrante: existence d'un point immobile (noeud) au centre de la corde. Il faudra attendre 1672 pour que le mathématicien Daniel Bernoulli démontre l'existence de tels noeuds dans les tuyaux sonores et 1787 pour que le musicien Ernst Chladni découvre les lignes nodales dans les membranes sonores.

Mais durant tout ce XVIII^{ème} siècle où s'élabore la théorie mathématique des ondes, l'interaction physique des ondes est peu étudiée. On s'intéresse surtout à l'indépendance des ondes sonores qui se croisent et l'acoustique, comme la théorie de la musique, reste encore largement une théorie des fréquences et ne s'intéresse pas aux amplitudes des ondes.

C'est parce qu'il va considérer l'interaction des ondes que Thomas Young va véritablement découvrir un nouvel effet: l'interférence.

Young s'intéresse à l'acoustique, car il a choisi d'étudier la formation de la voix humaine lors de la préparation de sa thèse de médecine. Il acquiert à cette occasion une culture acoustique très importante en étudiant les travaux de Lagrange, Euler et Bernoulli et bien d'autres. Il y apprend ce que sont les ondes stationnaires et leur rapport avec les sons que peuvent ou ne peuvent pas émettre les instruments de musique. Le fameux problème des harmoniques.

Il comprend très vite un mécanisme de la formation des ondes stationnaires par superposition d'une onde directe et d'une onde réfléchie. Vous pouvez le voir simplement en faisant vibrer une corde attachée à un mur. La légende dit que Young l'aurait compris en s'exerçant comme funambule.

La superposition de deux ondes de même fréquence produit selon un mécanisme dit, d'interférence, un état de mouvement où en chaque point de l'espace règne une vibration ayant la fréquence de l'onde initiale directe avec une amplitude (l'amplitude est l'écart maximum avec la position d'équilibre) constante au cours du temps mais périodique dans l'espace. C'est cette périodicité dans l'espace qui est la marque du phénomène d'interférence, avec l'apparition de noeuds (points où l'amplitude est nulle) et de ventres (points où l'amplitude est maximale). Alors que dans une onde ordinaire toutes les parties sont en mouvement, dans une onde stationnaire il existe des parties qui ne bougent pas. L'onde stationnaire est comme figée sur place dans son mouvement. L'énergie n'y circule pas, elle est localement piégée. En fait l'onde est devenue comme une vibration étendue. Le temps a été détourné.

Cette vibration (onde stationnaire) nous avons expliqué sa naissance, d'une manière très réaliste d'ailleurs, par le mécanisme d'interférence. Pour que l'interférence ait lieu, il doit y avoir entre la fréquence de l'onde initiale (ou ce qui revient au même, sa longueur d'onde) et l'étendue spatiale où l'onde initiale et l'onde réfléchie se recouvrent, une relation simple. Ici il y'a une relation arithmétique simple entre la longueur de la corde ou du tuyau sonore et la longueur d'onde de l'onde stationnaire: un rapport entier ou fractionnaire entier (rapport de deux nombres entiers).

Cette condition d'interférence (condition physique) s'exprime aussi du point de vue strict de l'onde stationnaire comme une condition de résonance (condition mathématique). Seules certaines ondes stationnaires peuvent s'installer dans un système physique donné, c.a.d. que ce système ne résonne -ne répond fortement- qu'à certains sons ou certaines vibrations. Pour un physicien, la résonance est le nom scientifique de ce que le musicien nomme "vibration par sympathie". Accrochez au mur

un violon bien accordé et jouez à côté de lui sur un autre violon: quand vous jouerez un sol, le même sol sur le violon accroché entrera en vibration.

Mais pour le mathématicien, les vibrations de résonance possibles sont ce qu'il nomme " les modes normaux de vibration" du système. Le musicien parle d'harmoniques ou de partiels. Le mathématicien démontre que toute vibration du système peut toujours être "décomposée" en modes normaux, c.a.d. représentée comme une addition (superposition) de modes normaux. Une telle addition peut être réalisée physiquement, c'est ce que font les instruments modernes appelés synthétiseurs. Par contre en pinçant ou en frappant une corde d'un instrument de musique on obtient un son complexe que l'analyse révèle comme composé de nombreux harmoniques.

Analyse et synthèse du son sont un cas particulier de ce que les mathématiciens, puis les physiciens nomment l'analyse de Fourier, du nom du mathématicien français François Marie Charles Fourier qui créa au début du XIX ème siècle un des domaines les plus féconds des mathématiques, l'Analyse Harmonique. C'est là l'instrument majeur de la théorie du signal, sur laquelle s'appuient la radio, la télévision, l'électronique et les communications spatiales. C'est même en fait l'un des domaines les plus fondamentaux de la physique mathématique.

Curieusement, alors que Young comprend le principe des interférences, et découvre que l'intensité du son d'un diapason dépend de la direction d'observation, il ne s'avise pas qu'il y'a là interférence entre les sons émis par les deux branches. C'est le physicien allemand W. Weber qui le découvrira en 1826. Parti de l'acoustique, Young ne découvre pas les interférences des sons, mais comprend les figures d'interférence de deux ondes sur l'eau produites par le jet simultané de deux pierres identiques en deux points peu éloignés. Il décrit le système de maxima et de minima ainsi obtenus.

C'est à partir de là, que passant à l'Optique, Young va formuler une loi générale de l'interférence, dont la première vertu sera d'expliquer les belles expériences de Newton sur les anneaux colorés qui apparaissent à la surface des lentilles de verre minces.

Il comprend que ce que l'on observe résulte de la recombinaison de deux portions d'une même lumière ayant suivi des chemins différents. L'amplitude de la lumière dépend en chaque point de la différence de longueur des chemins suivis. Des maxima ou des minima de vibration se produisent lorsque la différence de marche est un nombre entier pair ou impair de demi longueurs d'onde. Selon le cas les vibrations des deux ondes recombinaison arrivent en phase et s'exaltent ou en opposition de phase et se détruisent.

Influencé par Euler dans sa représentation ondulatoire de la lumière, et par Euler, Newton? Bernoulli et Lagrange, dans son approche mathématique de la physique, Young produit un modèle mathématique de la lumière qui donne un véritable statut mathématique à l'Optique de Newton.

Il utilise alors la loi d'interférence pour expliquer le phénomène de diffraction. Ainsi pour la diffraction observée lorsque la lumière passe dans une fente constituée entre les bords tranchants de deux couteaux (expérience décrite par Newton), il fait appel à l'interférence de la lumière "réfléchie" par les bords des couteaux et de la lumière qui passe dans la fente en ligne droite. Le phénomène de diffraction par un bord d'écran est bien dû à ce que le bord réfléchit ou diffuse la lumière. Somme toute une version ondulatoire de la conception corpusculaire de Newton qui fait aussi intervenir explicitement les phénomènes aux bords. Les franges observées dans la diffraction par une fente résultent de l'interférence de la lumière non modifiée et de la lumière renvoyée par les bords.

C'est aussi à l'aide des interférences que Young explique les franges observées au dessus d'une plaque striée.

Et c'est par l'intervention des interférences qu'il explique enfin les franges observées lors du passage de la lumière par deux trous percés dans un écran.

L'expérience des trous d'Young. Une des plus simples et des plus profondes de toutes les expériences de la physique.

Y'a-t-il plus bête que deux trous dans un écran?

Par diffraction sur chaque trou, la lumière part dans toutes les directions au delà de l'écran. La rencontre de deux ondes provenant de chacun des trous, donne par superposition sur un écran d'observation un état lumineux qui dépend de la différence de marche des deux rayons.

Le plus piquant de cette histoire, quand on sait que l'expérience des trous d'Young est devenue le paradigme même des phénomènes d'interférences, est qu'il semble bien que Young lui même n'a pas vraiment observé les interférences de la lumière provenant des deux trous. Il aurait confondu ces franges avec les systèmes de franges indépendants produit par la diffraction sur chaque trou. Et ceci parce qu'il utilisait des trous trop écartés l'un de l'autre, pour que les ondes qui arrivent sur l'écran d'observation en un point puissent provenir de la séparation en deux parties d'une même onde. Ceci est dû à ce que les ondes lumineuses réelles sont de longueur finie, comme un train, et que l'on ne peut recombinaison que les éléments séparés d'un même train. Si la distance entre les trous est trop grande les morceaux d'un même train (d'onde) n'arrivent pas ensemble sur l'écran. Ils ratent leur passage et ne se rencontrent pas. Comme Young n'avait pas fait de mesures d'interfranges, ce qui lui aurait permis de découvrir son erreur, fort de sa théorie, il pensait vraiment avoir observé les franges d'interférence.

Le pouvoir de conviction de la physique mathématique est tel que les plus grands savants ont souvent commis la faute de ne pas trop attacher d'importance à l'expérience. Galilée avait donné l'exemple en cette matière. Cela ne lui avait pas trop mal réussi. Il

affirmait dans son Dialogue qu'un boulet lâché du haut du mat d'un bateau tombe au pied du mat, ni en avant ni en arrière. Il ajoute qu'il n'a pas besoin de l'expérience en ce domaine. Pourtant, plus tard, Gassendi fit l'expérience dans le port de Marseille. Elle donna le résultat prévu par Galilée. Tant mieux pour lui.

Young avait raison. L'expérience des trous d'Young marche, si l'on prend les précautions nécessaires.

Cent cinquante ans plus tard l'Histoire des Sciences a fourni d'autres exemples de cette attitude désinvolte vis à vis des trous d'Young. Peut-être parce que cette expérience est si simple que l'on pense qu'elle ne mérite vraiment pas d'être considérée autrement que comme une figure d'école.

C'est ce qui est arrivé à Richard Feynman, un des grands physiciens de l'après deuxième guerre mondiale. Il commence son célèbre cours de Mécanique Quantique, paru en 1965, par une discussion de l'expérience des trous d'Young pour des corpuscules classiques, pour la lumière et pour les électrons. Car depuis 1927, confirmant les prédictions de Louis de Broglie, on sait que les électrons ont des propriétés ondulatoires. Feynman discute de l'expérience des trous d'Young pour les électrons, mais sans citer aucune expérience véritablement réalisée et en ne se posant pas la question de savoir s'il en existe. Ceci se voit clairement au fait qu'il dessine une figure de trous d'Young où les trous sont petits et très éloignés l'un de l'autre. Les conditions idéales pour ne pas voir de franges d'interférence. Tout comme chez Young.

Et pourtant en 1956, à Toulouse, Jean Faget a réalisé l'expérience des trous d'Young pour les électrons. Elle ne donne des résultats que lorsque des trous de 1mm de diamètre sont à 1 mm l'un de l'autre; Les trous sont à peine séparés. Ceci prouve que pour les électrons comme pour la lumière, l'onde est en fait un train d'onde de durée limitée. Mais alors que pour la lumière cette durée est liée au temps d'émission de la lumière par les atomes des sources, rien de semblable ne peut être évoqué pour les électrons. Un des mystères à verser au dossier de l'onde de de Broglie.

Tout récemment, en 1988, Mlynek à Konstanz, a réalisé l'expérience des trous d'Young avec des atomes, confirmant

l'existence du phénomène d'onde de de Broglie pour des objets quantiques aussi imposants.

Donnez moi deux trous et le principe d'interférence, et je vous initierai à l'un des mystères les plus profonds de l'Univers. Histoire à suivre....

Mais en 1801, Young était un pionnier, et tout ceci n'éveilla pas l'enthousiasme de ses contemporains. Le caractère souvent peu précis des expériences de Young et leur présentation peu claire a beaucoup contribué à laisser ses travaux peu connus.

Au point qu'en 1815-1816, un jeune français, Augustin Fresnel redécouvre le principe des interférences et va en faire un usage particulier pour expliquer la diffraction, en l'utilisant en conjonction avec le principe de Huygens.

En 1818, il écrit un fameux "Mémoire sur la diffraction de la lumière" qui sera couronné en 1819 par L'Académie des Sciences.

Il énonce clairement le principe des interférences en partant lui aussi des anneaux de Newton:

" ... ce phénomène résulte de l'influence que la lumière réfléchi à la seconde surface de la lame d'air exerce sur celle qui l'a été à la première, et que cette influence varie avec la différence des chemins parcourus. Ainsi les anneaux colorés conduisent au principe de l'influence mutuelle des rayons lumineux, comme les phénomènes de la diffraction, quoiqu'ils ne le démontrent pas avec la même évidence.

Dans la théorie des ondulations ce principe est une conséquence de l'hypothèse fondamentale. On conçoit en effet que, lorsque deux systèmes d'ondes lumineuses tendent à produire des mouvements absolument opposés au même point de l'espace, ils doivent s'affaiblir mutuellement, et même se détruire complètement, si les deux impulsions sont égales, et que les oscillations doivent s'ajouter au contraire, lorsqu'elles s'exécutent dans le même sens. L'intensité de la lumière dépendra donc des positions respectives des deux systèmes d'ondes, ou, ce qui revient au même, de la différence des chemins parcourus, quand ils émanent d'une source commune."

Entre 1816 et 1818 Fresnel a pris connaissance des travaux de Young, ce qu'il reconnaît, tout en cherchant à se démarquer .

" C'est Monsieur Thomas Young qui le premier a introduit le principe des interférences en optique, où il en a fait beaucoup d'applications ingénieuses. Mais, dans les problèmes d'optique qu'il a résolu de cette manière, il n'a considéré, je crois, que les cas extrêmes d'accord ou de discordance complète entre deux systèmes d'ondes, sans calculer l'intensité de la lumière pour les cas intermédiaires et pour un nombre quelconque de systèmes d'ondes, comme je me propose de le faire ici"

Le caractère inachevé des travaux de Young joue contre lui, car Fresnel se sent son rival et veut faire mieux que lui. Dès mai 1816, il écrivait franchement à Young:

"Quand on croit avoir fait une découverte, on n'apprend pas sans regret qu'on a été prévenu, et je vous avouerai franchement, Monsieur, que c'est aussi le sentiment que j'ai éprouvé lorsque M. Arago m'a fait voir qu'il n'y avait qu'un petit nombre d'observations véritablement neuves dans le Mémoire que j'avais présenté à l'Institut."

Dans cette même lettre on voit déjà apparaître une volonté de prendre le contre-pied de la théorie d'Young sur la diffraction, puisqu'il y parle " d'éloigner toute idée de l'action des bords du corps, de l'écran ou des petits trous, dans la formation et la disparition des franges intérieures".

C'est que Fresnel a un nouveau modèle pour la propagation de la lumière.

Comme Huygens, il pense que la lumière se propage par suite de petits mouvements d'un milieu fluide (éther).

"..la lumière consiste dans des vibrations de l'éther, semblables à celles des ondes sonores"

Mais il modifie la conception de Huygens, en supposant comme lui que tous les points d'une surface d'onde deviennent des petits émetteurs, mais en considérant qu'en un point de la surface d'onde ultérieure on observe l'interférence des ondes émises par tous ces petits émetteurs.

Démarche essentielle de représentation de la propagation de la lumière comme réémissions incessantes et interférences.

"Après avoir indiqué la manière de déterminer la résultante d'un nombre quelconque de systèmes d'ondes lumineuses, je vais faire voir comment, à l'aide de ces formules d'interférence et du seul principe d'Huygens, il est possible d'expliquer et même de calculer tous les phénomènes de la diffraction. Ce principe, qui me paraît une conséquence rigoureuse de l'hypothèse fondamentale, peut s'énoncer ainsi: les vibrations d'une onde lumineuse dans chacun de ses points peuvent être regardées comme la somme des mouvements élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans une quelconque de ses positions antérieures"

Dans une lettre à Young, du 19 Septembre 1819, Fresnel commente ainsi:

"Le principe de Huygens me paraît, aussi bien que celui des interférences, une conséquence rigoureuse de la coexistence des petits mouvements dans les vibrations des fluides"

Fresnel a alors beau jeu de proposer une théorie pour expliquer les franges de diffraction produites par une petite ouverture AG.

"L'expérience confirme les conséquences déduites de celui où l'on considère les franges comme résultant du concours des vibrations de tous les points de l'arc AG (*la part de l'onde non masquée par l'écran et présente dans l'ouverture*) et contredit par conséquent le système d'après lequel on les regarderait

comme produites uniquement par les rayons infléchis et réfléchis sur les bords mêmes du diaphragme (*ce qui est précisément la théorie de Young*) . Ce sont aussi les premiers phénomènes qui m'ont fait reconnaître l'inexactitude de cette hypothèse, et m'ont conduit à la théorie dont je viens d'exposer le principe fondamental, qui n'est autre que celui de Huygens, combiné avec le principe des interférences."

Remarquons, sans examiner en détail les arguments que Fresnel avance contre la théorie de Young, que l'argument principal est le succès de sa propre théorie. Ca marche, j'ai raison. Dynamique insidieuse des critères de vérité du monde moderne. Même si pour obtenir de bons résultats Fresnel doit se livrer à des hypothèses sur les amplitudes des ondes réémises en fonction de la direction d'émission, l'amplitude devant être maximale dans la direction de l'onde primaire. Fresnel se livre là à des ajustements, bricolages dirions nous, qui peuvent faire douter du caractère physique de son "modèle".

Young, effectivement, trouve tout cela ingénieux, mais ne croit pas au caractère physique de cette théorie. Il écrit à Arago, le 4 Août 1819:

"Je n'arrive toujours pas à comprendre comment cela est possible; car si la lumière a une si grande tendance à s'écarter sur la trajectoire des rayons voisins, et d'interférer avec eux, je ne vois pas comment elle échappe à une extinction totale sur un très court espace même dans le milieu le plus transparent"

Mais le tour est déjà joué. Le 16 Octobre 1819, Young se rallie. Il renonce "tragiquement" à sa propre théorie de la diffraction.

"Je vous remercie infiniment, Monsieur, pour le présent que vous m'avez fait de votre beau Mémoire, qui mérite assurément un rang distingué parmi les écrits qui ont le plus contribué aux progrès de l'optique.

Je n'ai pas la moindre idée d'insister sur l'opération des rayons réfléchis des bords d'un corps opaque, je savais même très bien que, quand on se sert de deux fentes parallèles, il faut se rapporter au milieu de chacune pour l'interférence, comme vous pouvez le voir dans la figure 442 de mes Lectures; mais je n'avais jamais eu l'heureuse idée d'analyser les résultats de la combinaison des ondulations particulières, qui vous a si bien réussi."

Pour un siècle environ, Young a perdu.

Pendant ce siècle la conception de Fresnel, la construction d'Huygens-Fresnel va dominer. Contre vents et marées.

C'est qu'elle donne beaucoup de bons résultats pour le calcul des figures de diffraction élémentaires. Jusqu'à aujourd'hui les exposés des livres d'optique lui font la part belle. même s'il est clair que ce n'est qu'une théorie approchée. Même s'il est clair que les sources secondaires sont fictives ou virtuelles. Car comment leur donner substance après l'effondrement de toute théorie d'éther hydrodynamique au début du vingtième siècle?. Même si un jour réapparaît un éther valable, on sait par la suite de l'histoire que nous allons raconter, que le modèle de Huygens-Fresnel n'est au mieux qu'un simulacre approchée. D'ailleurs, ce modèle est utilisable en acoustique, où le problème de l'éther ne se pose pas, car les ondes sont réellement propagées par un milieu fluide. Mais là aussi le modèle n'est qu'une bonne simulation.

La théorie de Young faisait appel à des sources de lumière, physiquement identifiées (les bords des obstacles).

La théorie de Fresnel, introduisait des sources dont le moins que l'on puisse dire est qu'elles étaient mathématiquement utiles sinon physiquement raisonnables. Mais comme par la suite, Fresnel fût le héros de la théorie ondulatoire de la lumière, en montrant brillamment le caractère transversal des vibrations dans les ondes lumineuses (ce qui plaçait une belle peau de banane pour toute théorie d'éther), l'ensemble de sa théorie acquit un pouvoir de conviction qui la fit régner telle quelle jusqu'en 1882.

En 1835, l'auteur d'un livre sur la diffraction, F.M. Scherard, déclare:

"La théorie ondulatoire (de Fresnel) prévoit les phénomènes de diffraction avec autant de certitude que la théorie de la gravitation de Newton prévoit le mouvement des corps célestes."

La mathématisation du simulacre : la représentation de Fourier.

La démarche heuristique de Fresnel consiste à remplacer la situation complexe résultant de la superposition entre onde incidente et onde réémise par un écran diffractant, par une situation équivalente plus simple. L'objet diffractant est modélisé comme un ensemble de sources d'ondes sphériques. La vibration lumineuse en un point P situé après une surface diffractante atteinte par une onde incidente est la somme des vibrations lumineuses en P d'ondelettes à surface d'onde sphérique qui seraient réémises par chaque élément de la partie non masquée de l'onde incidente.

L'amplitude de ces ondes secondaires fictives varie avec la direction d'émission (facteur d'inclinaison) selon des préceptes énoncés par Fresnel pour être en accord avec les phénomènes observés.

La construction ou le principe de Huygens-Fresnel s'applique correctement lorsque les ouvertures sont grandes par rapport à la longueur d'onde, lorsque l'on ne prend pas en compte les sources fictives situées trop près des bords et que l'observation s'effectue suffisamment loin de l'ouverture et dans des directions voisines de l'onde incidente.

Le simulacre de Huygens-Fresnel constitue jusqu'à aujourd'hui la base de la présentation des phénomènes de diffraction dans les enseignements universitaires élémentaires.

Mais l'histoire ne s'est pas arrêtée là.

En 1882, le grand physicien allemand Kirchhoff a montré en partant de l'équation générale des ondes que l'on pouvait obtenir rigoureusement une forme approchée du principe de Huygens-Fresnel. La théorie de la diffraction de Kirchhoff contient de manière approchée la théorie de Fresnel, tout en permettant de préciser les facteurs d'inclinaison qui s'y trouvaient indéterminés. L'ironie de l'histoire veut que la théorie de Kirchhoff tout en donnant une justification de la démarche de Fresnel va permettre de ressusciter le point de vue opposé de Young.

En effet dès 1893 (Eugen Maey), puis 1896 (Arnold Sommerfeld) on a montré que la solution rigoureuse du problème de la diffraction dans le cadre de la théorie de Kirchhoff pouvait s'exprimer comme la somme de l'onde incidente et d'une onde diffractée par le bord de l'écran. Revanche du bon sens physique de Young sur l'imagination de Fresnel. Toute une série de travaux va rendre rigoureuse cette conception de la diffraction dans le cas général, avec cependant quelques écarts avec la conception de Young (Rubinowicz-1917 ; Kotler-1923 ; Miyamoto et Wolf-1962).

Toute cette histoire illustre admirablement les difficultés de la modélisation et les subtilités des stratégies de simulacre.

Elle s'inscrit dans un chapitre plus vaste où les mathématiques vont offrir des procédures systématiques permettant de constituer des simulacres simples pour des phénomènes complexes.

L'acoustique et l'optique de par leurs études de l'analyse et de la synthèse du son et de la lumière, ont donné les exemples fondamentaux de ce que les mathématiciens, puis les physiciens nomment l'analyse ou représentation de Fourier ou plus généralement l'Analyse Harmonique. François Marie Charles Fourier a créé au début du XIX^{ème} siècle un des domaines les plus féconds des mathématiques, en s'intéressant à la représentation des fonctions comme somme (série ou intégrale) de fonctions élémentaires, telles les fonctions trigonométriques. Cette analyse harmonique va devenir l'instrument majeur de la théorie

du signal, et en fait un des outils majeurs de la physique mathématique.

L'analyse harmonique consiste à représenter une fonction quelconque comme somme (série ou intégrale-transformation de Fourier)) de fonctions simples. La simplicité n'étant pas ici définie comme une simplicité algorithmique, mais comme une simplicité de comportement lors de transformations effectuées par certains dispositifs physiques (systèmes linéaires). Ce sont des fonctions qui se présentant à l'entrée d'un système linéaire fournissent à la sortie des fonctions peu modifiées ou simples à calculer.

L'analyse harmonique permet ainsi de donner une représentation simple du rapport entre la sortie et l'entrée dans les systèmes linéaires. Cette représentation n'a pas la prétention de décrire les phénomènes réels qui se déroulent à l'intérieur du système, mais de fournir un simulacre qui permet de calculer facilement les relations entre les entrées et les sorties, le seul phénomène qui intéresse souvent le physicien. Un point de vue qui transforme le système physique en boîte noire et qui va fournir à la cybernétique une de ses idées majeures. Il ne faut d'ailleurs pas oublier que Norbert Wiener était un grand spécialiste d'analyse harmonique.

C'est ainsi que de très nombreux composants et dispositifs de l'optique présentant la propriété de linéarité, l'utilisation de l'analyse de Fourier en optique s'est largement développée donnant naissance à une branche de l'optique, dite Optique de Fourier.

Un système est dit linéaire s'il satisfait au principe de superposition, c.a.d. si sa réponse à la somme de deux signaux en entrée est la somme des réponses à chacun des signaux séparément.

Entre l'entrée et la sortie d'un système linéaire il existe une relation remarquable : La transformée de Fourier (T.F.) de la sortie est égale à la T.F. de l'entrée, multipliée par la T.F. de la fonction de réponse impulsionnelle, réponse du système à une entrée impulsionnelle (δ de Dirac). Cette T.F. de la fonction de réponse impulsionnelle est appelée la fonction de transfert du système. C'est la réponse du système à une fonction harmonique,

par exemple en optique la réponse à une onde plane. D'où l'intérêt en optique de représenter une onde arbitraire dans l'espace libre par une superposition d'ondes planes. C'est là le fondement de l'optique de Fourier, permettant ainsi d'exprimer de très nombreuses opérations de l'optique au moyen de la transformation de Fourier.

C'est ainsi que l'on peut montrer que le principe de Huygens Fresnel découle d'une manière approchée du traitement de la diffraction en Optique de Fourier, donnant ainsi à ce principe son véritable statut. Ondes planes ou ondes sphériques sont des ondes fictives permettant de modéliser simplement les phénomènes.

Les ressources de la mathématique permettent de fournir des simulacres parfaits, reproduisant exactement des ensembles d'observations physiques, tout en ne décrivant pas la totalité des phénomènes physique réels qui ont lieu dans le système.

L'ambition de la cybernétique a été de donner une théorie générale abstraite de tous les simulacres possibles. En comprenant parfaitement que le simulacre a un caractère contextuel, car il n'a de sens que par rapport à une situation physique particulière.

Ainsi l'analyse de Fourier n'est pas une analyse ontologique mais un outil pour la représentation de l'interaction avec un dispositif physique linéaire. Décomposer la lumière blanche en lumières colorées n'implique pas la présence physique de ces lumières colorées dans la lumière blanche, mais permet de décrire simplement le résultat de l'interaction de la lumière blanche avec un dispositif optique linéaire, un prisme par exemple.

Malheureusement cette dérive ontologique est fréquente chez les physiciens et dans le grand public. Au point qu'il ne faut pas s'étonner de lire jusqu'à aujourd'hui sous la plume de physiciens renommés des mises en garde salutaires contre la chosification des composantes de Fourier.

Dans son style si personnel, H. Bouasse, l'auteur d'un immense traité de physique s'exclame :

« à moins d'avoir perdu le plus élémentaires sens commun, il est impossible d'attribuer aux vibrations harmoniques que la série de Fourier met en évidence, une existence objective »

Acoustique générale 1926

Quant au grand Louis de Broglie il prend la peine de s'exprimer longuement sur ce sujet :

« Si l'on considère une grandeur qui peut être représentée à la manière de Fourier, par une superposition de composantes monochromatiques, c'est la superposition qui a un sens physique, et non pas les composantes de Fourier considérées isolement.....L'idée que les composantes monochromatiques ont une existence réelle dans le processus physique qui résulte de leur superposition me paraît être une idée fautive qui vicie une partie des raisonnements théoriques qui sont actuellement usuels en Physique Quantique. »

Certitudes et incertitudes de la science. 1966

Historiquement la théorie des sons musicaux et leur représentation et leur représentation par fondamental et harmoniques, puis l'analyse harmonique des signaux électromagnétiques, sont devenu le modèle même de la démarche fondamentale en Physique Linéaire.

La linéarité est la propriété d'une grande classe de phénomènes, ceux où les effets sont du même ordre de grandeurs que les causes. La prise en considération de tels phénomènes a dominé la vision du monde de tous les systèmes philosophiques, spirituels, religieux, scientifiques, jusque dans le deuxième tiers du XIX ème siècle et à vrai dire jusqu'au milieu du XX ème siècle. Ainsi pensait on que pour produire un grand effet il fallait une grande cause. Il ne fallait pas moins que Dieu pour créer le Monde.

La démarche linéaire prend la droite comme modèle en se limitant à des relations de proportionnalité entre les objets.

Elle est justifiée lorsque:

- les effets sont petits et les causes s'ajoutent
- le Tout n'est rien d'autre que la somme des parties
- les mouvements sont relativement uniformes et réguliers.

A la base de l'Analyse Mathématique, créée par Leibniz et Newton, se trouve un principe de linéarité: presque tous les processus naturels sont linéaires si l'on ne s'intéresse qu'à leurs

petites variations locales. Toute courbe au voisinage immédiat d'un point se distingue peu de la tangente à la courbe en ce point. L'addition des forces et les phénomènes vectoriels analogues de l'espace physique sont linéaires.

Einstein nous a appris que l'espace physique lui même ne paraît linéaire que dans un petit voisinage de l'observateur. Ce petit voisinage est heureusement suffisamment grand.

La Physique du XIX siècle va exploiter dans tous les sens la notion de linéarité à partir de la physique des vibrations et des ondes. Le principe des interférences va jouer là un rôle essentiel. Il va se dégager une propriété universelle des systèmes physiques linéaires de dimensions limitées (c.a.d. contenus entre certaines limites physiquement matérialisées: bornes, parois...): ils ne peuvent être le siège que d'un nombre restreint d'états de mouvement.

Etats de mouvement en acte, issus d'un ensemble d'états de mouvement possibles, et vérifiant des principes variationnels. Une véritable sélection naturelle.

La Microphysique au XXème siècle va affirmer brutalement et d'une manière inattendue le rôle essentiel de la linéarité et du principe d'interférences dans le monde des atomes et des particules élémentaires.

Ainsi le phénomène des interférences, qui se manifeste avec une simple corde où bien à la surface de l'eau si l'on jette deux cailloux à la fois, n'est pas une simple curiosité. C'est la porte d'entrée au Royaume de la Physique Linéaire. Que les phénomènes linéaires et les démarches linéaires puissent constituer la moitié de la physique est la raison du succès de celle ci durant les derniers siècles. Succès miraculeux si l'on pense que le Non-Linéaire rôde partout.

Car le Non-Linéaire apparaît chaque fois que
le comportement collectif du Tout est qualitativement
différent de celui de la somme des parties
le mouvement provoque des changements
qualitatifs importants du système (changements de
phase au sens large)

Si l'image du linéaire c'est la droite (la vie est un long fleuve tranquille) et le temps détourné, l'image du non linéaire c'est la parabole et les changements rapides et violents. Tout est exalté, amplifié. A petite cause, grands effets.

La naissance et la mort, la vie donc, qui est perpétuelle mort et renaissance, sont donc non-linéaires. La naissance et la mort d'un son musical sont non-linéaires.

C'est le non linéaire qui permet l'apparition de phénomènes complexes où se jouent le Hasard et le Chaos. Mais c'est aussi le non linéaire qui est responsable de la naissance des Formes.

Dans un système linéaire les contraires s'ajoutent en s'annulant. Les nœuds de vibration en sont le marque profonde.

Dans un système non linéaire les contraires s'exaltent dans la figure du Tout.

La découverte des effets de la non-linéarité est véritablement le fait du XXème siècle. On n'est pas près d'épuiser les conséquences de cette découverte qui modifie la vision du monde.

La cybernétique : le simulacre institutionnalisé.

En tant que doctrine de la boîte noire, la cybernétique s'inscrit dans l'évolution des idées sur la modélisation des phénomènes. Elle défend l'existence possible de modèles abstraits ou symboliques, a côté des modèles matériels et des modèles mathématiques traditionnels, qui s'écartent peu du contenu figuré du phénomène. Dans cette problématique elle a reçu un appui considérable de la part de l'ordinateur, qui constitue un modèle

universel de boîte noire au service de la simulation. La cybernétique est avant tout une doctrine de modélisation, développant un style particulier, la modélisation cybernétique. Le modèle cesse d'être une « copie », abandonnant ainsi l'idéal de mimésis au profit de l'abstraction. Conception qui s'affirme déjà à la fin du XIX^{ème} siècle chez le grand physicien allemand Helmholtz. Emboîtant le pas à Kant et Kirchhoff, et avec toute son expérience de physiologiste, Helmholtz affirme que le langage et la science donnent de la nature une représentation par images symboliques, et non pas par de simples images figuratives ou photographiques. Les sensations ne sont pas des images mais des symboles des objets auxquels ils correspondent, et que les organes des sens mettent en relation avec les stimulations des objets extérieurs. Ces images symboliques n'ont aucun caractère de ressemblance avec les objets. La correspondance n'est pas entre choses et symboles, mais entre organisation des choses et organisation des symboles dans un discours.

Une pensée reprise par Hertz, le physicien qui a mis en évidence l'existence des ondes électromagnétiques, et exaltée par le philosophe néo-kantien Cassirer, dans sa trilogie : « La philosophie des formes symboliques ». Il y décrit en ces termes la naissance de cette pensée scientifique « symboliste » :

« Fait remarquable, le même penseur dont les découvertes ont préparé et rendu possible, au plan du contenu, la 'nouvelle image électrodynamique du monde', a été aussi l'auteur d'une 'révolution du mode de pensée' à l'intérieur de la théorie physique. Heinrich Hertz est ce chercheur moderne qui, dans ses 'Principes de mécanique' (1894) a accompli le plus tôt et le plus résolument en physique la conversion de 'la théorie de la connaissance comme copie' en une pure 'théorie du symbole' . Les concepts clés de la science n'apparaissent plus dès lors, comme des copies imitant un donné immédiat des choses, mais comme des projets constructifs de la pensée physique, projets dont la valeur et la portée théorique ont pour unique condition un accord constamment renouvelé entre leurs conséquences nécessaires et ce que l'expérience permet d'observer. En ce sens, c'est tout le monde des concepts physiques qui peut

maintenant, ainsi que fit Helmholtz dans sa théorie de la connaissance, se définir comme un monde de purs ‘signes’. »

Toute la pensée antimétaphysique du XX^{ème} siècle s’exprime dans ce conventionnalisme sémantique, et dans différentes formes de conventionnalisme. Les pensées de Poincaré, Duhem, Mach, Quine, Carnap, s’inscrivent à différents titres dans cette mouvance.

Historiquement Hertz a exercé une grande influence sur Wittgenstein dans son *Tractatus Logico Philosophicus*, et aujourd’hui encore un philosophe des sciences influent comme Van Fraassen défend une image de la science dite ‘empirisme constructif’, systématiquement liée à celle de Hertz.

La Boite Noire est comme l’emblème de toute cette mise à mort de la métaphysique. Elle constitue précisément une démarche stratégique pour contourner le réalisme métaphysique et le remplacer par une épistémologie de la connaissance. Curieusement il a fallu beaucoup de temps pour que l’on se rende compte que la mécanique quantique relève de cette stratégie, dont elle montre la réussite possible.

⁴ Il est plus ou moins clair aujourd’hui pour une majorité de physiciens préoccupés des fondements et de la signification de la mécanique quantique, que celle-ci est un modèle cybernétique. Mais telle quelle cette affirmation n’apparaît jamais. Tout le monde est cependant prêt à considérer que la préparation est une entrée, la mesure une sortie, et que l’objet quantique lui-même est représenté par une boîte noire avec la fonction d’onde comme état ou fonction de transfert. C’est en particulier le cas de livres qui font autorité :

A.S. Holevo. *Probabilistic and statistical aspects of quantum theory*. North Holland. 1982

A. Peres. *Quantum theory: Concepts and methods*. Kluwer. 1993.

B. W. de Muynck. *Foundations of quantum mechanics: an empiricist approach*. Kluwer. 2002.

Il faut cependant attendre 2006 pour voir cela explicitement formulé, en catimini, en termes cybernétiques. Dans le *Handbook of the Philosophy of Information* (Elsevier) on peut lire sous la plume de P. Harremoës et F. Topsøe (*The quantitative theory of information*) des déclarations très générales qui vont être appliquées à la Mécanique Quantique :

« Une expérience physique consiste en une procédure physique et en un résultat sous la forme de données. La procédure physique peut souvent être décomposée en une préparation et une mesure. La préparation établit un protocole expérimental en définissant des conditions initiales et des données d’entrée. La mesure couple ‘l’objet préparé’ à l’appareil de mesure avec pour résultat une observation. ‘L’objet’ peut être considéré comme une ‘boîte noire’, un couplage ou un canal d’information entre la préparation et la mesure. Nous dirons que deux préparations représentent le même état si ces préparations ne peuvent pas être distinguées par une mesure quelconque. Ceci implique que l’espace d’état dépende de l’ensemble de mesure considéré. Il est donc trompeur de dire par exemple ‘l’électron est dans l’état S’. Il faudrait plutôt dire ‘notre connaissance de l’électron est complètement décrite par S’. »

Ainsi l’état (la fonction d’onde) décrit le dispositif de la boîte noire, c’est à dire un modèle et non pas le système physique. Comme le dit Peres, l’état quantique n’est pas un objet physique, il n’existe que dans notre imagination. Le formalisme quantique ne représente pas l’objet microscopique, il sauve les phénomènes. On ne s’étonnera pas alors du rôle central de la transformation de Fourier en Mécanique Quantique, constituant pour ainsi dire l’apogée du Fourierisme.

La cybernétique accomplit une mutation de la physique qui prend naissance au XIX^e siècle et qui va la transformer d'une physique des images en une physique du simulacre. Cette mutation accompagne la chute de la doctrine mécaniste qui accompagne la problématique de l'éther et de l'électromagnétisme. Comme l'a si bien dit Max Planck, l'éther est le point le plus douloureux de la théorie mécaniste. C'est à cause de l'échec de toutes les tentatives pour donner un modèle mécaniste de l'éther, que l'électromagnétisme va se réfugier dans une attitude scientifique issue de la tradition kantienne, un phénoménalisme mathématisé. Les deux plus grandes théories physiques du XX^e siècle, la Relativité et la Mécanique Quantique s'inscriront dans cette perspective.

C'est James Clerk Maxwell, le fondateur de la théorie électromagnétique, centrée autour d'un ensemble célèbre de quatre équations fondamentales, qui ouvre la porte à cette nouvelle physique.

Paradoxalement il construit un modèle mécanique de l'éther digne de Vaucanson, avec « roues dentées et pignons » et fait grand usage d'analogies hydrodynamiques. Mais il est très conscient du statut de ce modèle et de ces analogies. Il s'agit pour lui de simulacres qui donnent des mathématiques une image visuelle qu'il ne confond pas avec la réalité physique.

Ainsi dans son étude « Sur les lignes de forces de Faraday » (1855) il introduit un fluide dont il parle en ces termes :

« La substance dont nous traitons ici ne possède aucune propriété des fluides ordinaires, excepté celle de la liberté de mouvement. Ce n'est même pas un fluide hypothétique introduit pour expliquer les phénomènes réels. C'est simplement une collection de propriétés imaginaires qui peut être utilisée pour établir certains théorèmes de mathématique pure d'une manière plus intelligible pour les esprits ordinaires que celle où seuls les symboles algébriques sont utilisés. L'utilisation du mot « Fluide » ne nous trompera pas si nous nous souvenons qu'il représente simplement une substance imaginaire.... »

Maxwell utilise un fluide imaginaire pour l'aider à visualiser et à établir certaines formules mathématiques. Le système réel est escamoté dans une boîte noire où il est remplacé par un simulacre. Le fluide de Maxwell est le prototype même du modèle abstrait, sans matérialité particulière, que va institutionnaliser la cybernétique. La démarche de Maxwell est effectivement une démarche cybernétique parfaitement réussie.

Mais elle tranche avec la pratique des modèles mécaniques largement répandue à l'époque. Cette pratique, en particulier dans la Physique Anglaise, est largement décrite par P. Duhem dans le célèbre chapitre IV de « La Théorie Physique. Son objet. Sa structure ». Ce chapitre est une reprise d'un article publié en 1893 et qui se gaussait de l'emploi des modèles mécaniques par les physiciens anglais, tel William Thomson (Lord Kelvin). Ce dernier, un des fondateurs de la thermodynamique, déclarait en effet : « Il me semble que le sens véritable de la signification de la question de savoir si nous comprenons un phénomène physique est : peut on construire un modèle mécanique correspondant ? »

Poincaré a bien compris le rôle particulier du modèle mécanique chez Maxwell. Dans l'introduction de son admirable cours d'Electricité et d'Optique, professé à la Sorbonne à la fin du XIX^e siècle, il prévient le lecteur français :

« Maxwell ne donne pas une explication mécanique de l'électricité et du magnétisme ; il se borne à démontrer que cette explication est possible.....

Car il importe d'observer que Maxwell n'a jamais regardé 'What we may call an electric displacement' comme un véritable mouvement d'une véritable matière »

C'est Hertz, qui donnera aux équations de Maxwell leur forme actuelle et qui énoncera sur cette théorie un jugement définitif : « La théorie de Maxwell est le système des équations de Maxwell ».

Le Mécanisme est mort. En fait la théorie de Maxwell montre que le champ est un concept aussi important que la matière.

Cette mort du mécanisme joue un rôle essentiel dans le statut de la notion de modèle en physique. Elle explique pourquoi la notion de modélisation est pratiquement absente de la science dans la première moitié du XX^e siècle.

Ce ne sont cependant pas les idées de la science fondamentale (les théories physiques par exemple) qui ont mené à la cybernétique, mais des domaines relevant de la pratique des ingénieurs, en particulier des ingénieurs radio-électriciens. Un peu comme si l'électrotechnique prenait la place du mécanisme, promouvant une image électromagnétique du monde. Les circuits électriques remplacent les roues dentées et les poulies.

Dans ce changement radical du langage de modélisation, le rôle décisif va être joué par le travail de diplôme d'un étudiant ingénieur du MIT en 1937, Claude Shannon. Il s'y livre à une description générale des relais et circuits de commutation électrique par une algèbre de Boole.

L'algèbre des sous-ensembles définie par les opérations de réunion, d'intersection et de complémentarité est une algèbre de Boole, tout comme l'algèbre des propositions définie par les opérations logiques de conjonction, de disjonction et de négation.

Shannon peut ainsi établir une correspondance entre les circuits électriques et les opérations de la logique. Dans la mesure où celles-ci s'expriment entièrement à l'aide des nombres 0 et 1 (faux ou vrai), il ouvre la voie à la représentation de l'arithmétique par les circuits électriques, qui sera exploitée par les ordinateurs. Mais il dépouille ce faisant les circuits électriques de leur caractère matériel, en les réduisant à un ensemble d'évènements élémentaires (le courant passe ou ne passe pas), leur donnant ainsi une valeur symbolique qui leur permettra de modéliser n'importe quel phénomène. C'est cette modélisation universelle qui constitue la révolution idéologique sur laquelle s'appuiera la cybernétique.

Le raisonnement devient « calcul » indépendamment de l'interprétation que l'on peut donner au symbole, à partir de cette interprétation purement logique des circuits électriques. La matérialité physique s'efface au profit de la structure mathématique (logique). Tout est ramené à des décomptes

d'évènements, un point de vue que Shannon reprendra dans sa Théorie de l'Information en 1948. Cela ouvre la voie à la modélisation mathématique, une modélisation abstraite qui sera le cœur même de la cybernétique. Les circuits électriques deviennent les outils du simulacre.

Les recherches menées à des fins militaires durant la seconde guerre mondiale ont joué un rôle non négligeable. On cite toujours les travaux de N. Wiener sur le contrôle des tirs d'artillerie, mais il faut aussi mentionner les recherches faites dans le domaine du radar et dans celui de l'arme nucléaire.

Les recherches sur le radar ont conduit à un grand développement de la physique des micro-ondes et à l'électronique associée. En particulier ces recherches ont été menées au MIT autour du Radiation Laboratory (Rad Lab). Les électroniciens y pratiquaient une culture de l'entrée-sortie, c.a.d. une stratégie de la boîte noire, où l'on remplace des dispositifs physiques complexes par des circuits électriques « équivalents ». Ainsi par exemple les guides d'onde et les cavités des circuits micro-ondes pouvaient être remplacés par des composants électriques ordinaires ramenant tous les calculs à des manipulations algébriques et évitant la résolution détaillée de problèmes aux limites complexes pour les équations de Maxwell. Par ce simulacre on ramenait ainsi la théorie de Maxwell à une pratique d'ingénieurs radioélectriciens.

L'idée fondamentale de la cybernétique se trouve exprimée là d'une manière parfaite. Cette pratique des circuits équivalents va marquer une génération d'ingénieurs et de théoriciens. Il est tout à fait étonnant de voir comment, après la guerre, deux théoriciens éminents, l'américain Julian Schwinger, qui a travaillé au Rad Lab, et le japonais Sin-Itiro-Tomonaga, qui travaillait aux recherches japonaises sur le radar, vont transposer l'état d'esprit de ces recherches à l'Electrodynamique Quantique en créant la théorie de la renormalisation qui « sauve » la Théorie Quantique des Champs et ouvre la voie à la Théorie Standard des particules élémentaires et de leurs interactions. Un réalisme pragmatique remplaçant le réalisme théorique, récompensé par le prix Nobel.

Une démarche pragmatique d'ingénieur à l'intérieur d'une théorie fondamentale confrontée à des difficultés mathématiques, permettant de sauver les phénomènes.

Écoutons Tomonaga dans son discours de réception du prix Nobel :

« Si nous examinons la structure de la théorie après que les infinités eussent été amalgamées dans les termes de masse et de charge, nous nous rendons compte que la seule masse et la seule charge apparaissant dans la théorie sont les valeurs modifiées par la réaction du champ- les valeurs d'origine et les modifications dues aux réactions du champ n'apparaissant jamais séparément.

Cette situation donne naissance à la possibilité suivante. En fait la théorie ne fournit pas de solution au problème des infinités. C'est à dire que, puisque les parties modifiées de la masse et de la charge dues aux réactions du champ contiennent des divergences, il est impossible de les calculer par la théorie. Mais la masse et la charge observées dans les expériences ne sont pas la masse et la charge originale mais la masse et la charge modifiées par les réactions du champ, et sont des quantités finies.....Puisque la théorie ne peut pas calculer la masse et la charge modifiées, nous pouvons adopter la procédure phénoménologique qui consiste à leur substituer la valeur expérimentale. Lorsqu'une théorie est partiellement incompétente, c'est un procédé commun que de s'en remettre à l'expérience pour cette part. Cette procédure est appelée la renormalisation de la masse et de la charge..... ».

Lorsque la véritable théorie manque on la remplace par un simulacre. La leçon de la pratique des circuits équivalents chez les radaristes a été bien assimilée par les théoriciens de la physique fondamentale. Preuve de l'étendue de « l'empire cybernétique » où l'on abandonne la description vraie au profit d'une description opérationnelle. Un triomphe d'une physique des résultats au dépens d'une physique de la compréhension, ce qui ne satisfait pas

nécessairement tous les théoriciens qui rêvent d'une autre théorie plus vraie et moins tourmentée.

Cette pratique du simulacre que l'on peut aussi caractériser comme une démarche des objets virtuels est omniprésente en physique et s'est particulièrement développée dans la seconde moitié du vingtième siècle. Citons pêle mêle : l'emploi d'images virtuelles pour étudier les phénomènes de réflexion de la lumière, la théorie de Huyghens-Fresnel de la diffraction utilisant l'interférence d'ondes fictives, la méthode de Monte Carlo mettant en scène un phénomène aléatoire fictif, les formulations de la mécanique quantique à l'aide d'intégrales de chemin (Feynmann), la mécanique stochastique de Nelson censée reproduire certaines caractéristiques probabilistes de la mécanique quantique, la formulation de la mécanique quantique à l'aide de la notion fictive de potentiel quantique (de Broglie-Bohm). Remarquons que cette pratique est très répandue en physique quantique où précisément la description réaliste du système fait défaut et où règne une approche cybernétique.

C'est aux recherches sur l'arme nucléaire, plus précisément la bombe à hydrogène, exploitant les possibilités offertes par l'ordinateur naissant, que l'on doit le développement d'une méthode de modélisation statistique, dite méthode de Monte-Carlo, d'après la dénomination qui lui a été donnée par un de ses inventeurs Nicholas Metropolis. C'est une méthode numérique utilisant une interprétation probabiliste de la grandeur que l'on cherche à calculer pour un système qui n'a pas forcément un caractère aléatoire. La détermination du nombre π par l'étude statistique des jets de paquets d'épingles sur un cercle tracé dans un plan fait partie de la préhistoire de la méthode (méthode de Buffon, 1717).

On construit un modèle aléatoire fictif, n'ayant en général pas de relation avec l'objet que l'on modélise, mais permettant d'obtenir par une expérience statistique une caractéristique de l'objet assimilée à la valeur moyenne ou à toute autre caractéristique statistique du phénomène aléatoire fictif. L'engendrement sur ordinateur de ces objets mathématiques aléatoires constitue au sens propre une simulation stochastique.

La méthode de Monte-Carlo consiste à étudier expérimentalement ces objets aléatoires pour en déterminer certaines propriétés numériquement égales à certaines propriétés de l'objet à modéliser. C'est en ce sens que ce qui n'est au départ qu'une simple simulation, devient un simulacre. La simulation d'objets aléatoires permet grâce à leur observation d'obtenir des caractéristiques d'un objet modèle. La méthode de Monte-Carlo est donc un simulacre stochastique, ayant le même statut de simulacre qu'une représentation de Fourier. C'est une représentation stochastique.

La méthode de Monte-Carlo est d'ailleurs tout comme celle de Fourier, devenue un élément essentiel de toutes les réalisations scientifiques ou techniques de ces dernières décennies. Elle permet en particulier d'obtenir rapidement des informations sur un objet technologique dont la description détaillée n'est pas disponible. Sans méthode de Monte-Carlo il n'y a pas de détecteurs de particules et donc pas de physique nucléaire, pas d'armes nucléaires complexes, pas de guidage des fusées donc pas d'aventure spatiale. On se rend compte qu'une grande partie de notre culture matérielle avancée repose non pas sur la connaissance détaillée des systèmes techniques mais sur l'utilisation massive du simulacre. La méthode de Monte-Carlo est tout à fait représentative de l'esprit de la cybernétique, et se trouve être un de ces bastions invisibles mais essentiels dans l'emprise de la cybernétique sur le mode contemporain.

Utilisée au départ par des grands savants⁵ comme Enrico Fermi, John von Neumann, Nicholas Metropolis ou Stanislaw Ulam pour simuler la diffusion des neutrons, la méthode de Monte-Carlo s'est progressivement constituée en une démarche originale qui n'est pas une théorie pure, ni une expérience pure, mais la constitution d'une réalité alternative, un tertium quid entre la paille et le tableau noir, 'une nouvelle espèce de science' comme le dira plus tard S. Wolfram⁶ à propos de l'emploi de simulacres au moyen d'automates cellulaires.

⁵L'histoire des premiers pas de la méthode de Monte Carlo est racontée avec force détails dans le livre de P. Galison : *Image and logic. A material culture of microphysics*. University of Chicago Press. 1997

⁶S. Wolfram. *A new kind of science*. Wolfram Media. 2002.

Cybernétique et sciences humaines : le structuralisme.

La cybernétique a donné corps et statut à une démarche épistémologique générale dont les manifestations ont bien souvent précédé la formulation cybernétique. Il s'agit d'une démarche de modélisation du réel qui privilégie les relations entre les objets au dépens de leurs propriétés intrinsèques, les propriétés au dépens des attributs, les qualités secondaires au dépens des qualités premières, les causes formelles au dépens des causes efficientes. C'est là le sens profond de toute description par entrées-sorties d'une boîte noire, qui met l'objet ontologiquement entre parenthèses, le dépouille de toutes ses qualités et l'habille de ses relations avec le monde qui l'entoure.

C'est précisément la démarche adoptée par la mécanique quantique vis à vis du monde microphysique. C'est aussi la démarche de la mathématique et de la logique modernes où l'on ne soucie pas de ce que représentent les symboles et où l'on construit une syntaxe pure fondée sur les relations. Logique et mathématique utilisent des formalismes à caractère ensembliste, employant les notions d'ensemble, de sous ensemble,

d'appartenance et les notions dérivées. C'est par la définition de relations entre éléments, entre sous ensembles (lois internes et externes) que le discours mathématique s'enchaîne. La donnée de telles relations définit ce que l'on a coutume d'appeler une structure, c.a.d un type de rapport entre les parties et le tout.

Ce problème de la relation entre les parties et le tout est traditionnel en philosophie naturelle, où l'on suppose que le tout est organisé et que les parties sont organiquement connectées par des relations. Le structuralisme est une attitude d'analyse du tout en terme de structure dans des circonstances où la plupart du temps le tout n'est pas la simple somme des parties. Le tout existe alors jusque dans les parties si bien que la reconstitution du tout à partir des parties est une procédure non linéaire. Les parties n'existent qu'en fonction du tout, ce qui est le contre-pied absolu de l'atomisme.

Le structuralisme porte toute son attention sur le réseau des relations (la structure) qui est la raison constituante de l'existence du tout. Le tout est alors souvent désigné par le terme système, et l'on dit que le structuralisme en faisant du système la seule réalité est un type de philosophie systémique.

On voit que la structure d'un système est un ensemble de relations entre les sous systèmes qui fonde l'existence du système en tant que tel. On peut pour une même situation naturelle définir différentes structures selon la décomposition en sous systèmes considérée. La structure est donc une forme relationnelle émergente réalisant un hylémorphisme de type aristotélicien. La structure n'a pas la même réalité empirique que la substance car elle ne s'exprime pas directement mais à travers les modèles construits pour représenter la réalité. Malgré la tentation de voir dans la structure l'essence du tout, la structure relève plutôt d'une démarche de modélisation car elle n'apparaît que dans l'adoption d'un point de vue particulier sur le système.

On voit donc que la pratique des savoirs comporte souvent l'adoption d'une démarche structuraliste qui va précisément se retrouver au cœur de la cybernétique. Le structuralisme du XX

⁷ Les principales structures algébriques sont définies par des lois internes, ce sont le groupe, l'anneau, le corps et le champ, ou bien par des lois internes associées à une loi externe, ce qui est le cas pour l'espace vectoriel ou l'algèbre. Le calcul des probabilités offre un bon exemple de l'exploitation des propriétés d'une algèbre (algèbre de Boole) dont les éléments sont des évènements qui ne représentent à priori rien de particulier.

ème siècle a en commun avec la cybernétique son caractère relationnel et sa méthodologie de modélisation abstraite. Historiquement ce structuralisme prend naissance au début du siècle avec l'œuvre du linguiste Ferdinand de Saussure. De fait Roman Jakobson, un linguiste qui a joué un rôle charnière fondamental, a qualifié de structuralisme les trois affirmations (cybernétiques) de Saussure sur le langage :

la nature systémique du langage, le tout y étant plus que la somme des parties,

la conception relationnelle des éléments du langage, où les entités linguistiques sont définies par des relations de combinaison ou d'opposition les unes aux autres,

la nature arbitraire des éléments linguistiques qui sont définis d'après la fonction ou le but qu'ils remplissent plutôt qu'en terme de leurs qualités inhérentes.

Un des faits les plus marquants de l'histoire intellectuelle du XX ème siècle est dans la convergence entre la linguistique et la cybernétique et la reconnaissance du statut des méthodes de modélisation abstraite. Ainsi la linguistique voit naître chez Saussure, puis Jakobson, une discipline dite linguistique structurale, qui étudie les modèles formels des langues naturelles et la méthodologie de construction de ces modèles. Présente au début à l'état implicite, la notion de modèle en linguistique prendra corps sous l'influence de la cybernétique. C'est cette méthodologie modélisatrice, qui en s'étendant à un vaste domaine des sciences humaines sous l'influence de la linguistique, va constituer après 1945 le mouvement historique dénommé Structuralisme.

Cette collusion entre la linguistique structurale et la cybernétique apparaît clairement dans le fait historique du développement de la linguistique structurale en URSS précisément à partir du moment où en 1955 les objections idéologiques contre la cybernétique ont été levées. Cela a été marqué par la mise en chantier de recherches sur la traduction

automatique associant linguistes et mathématiciens. C'est par cette voie que le structuralisme fera son entrée dans la linguistique soviétique. Le terme 'modélisation' y revient sans cesse en mentionnant explicitement son emprunt à la cybernétique.

M. Aucouturier commente ainsi cette pratique de la modélisation (Le formalisme russe) :

« Quant à la notion de 'modèle', empruntée à la cybernétique, elle désigne toute construction autonome imitant artificiellement une réalité donnée et servant à en connaître la structure et le fonctionnement. En ce sens, tout langage représente une certaine 'modélisation' du réel qu'il découpe en unités lexicales et structure selon les rapports exprimés par ses propres règles grammaticales et syntaxiques. Comme le langage, la littérature avec ses formes, qui sont toujours chargées de signification, nous propose une certaine 'modélisation' du réel, et chaque œuvre constitue un énoncé reposant sur cette modélisation et la modifiant. Elle est selon Lotman un 'système modélisant secondaire' superposé à celui que constitue le langage. »

Cet emploi de la conception de modèle en linguistique est aussi caractéristique de la linguistique structurale américaine en particulier dans l'œuvre de Noam Chomsky.

A travers la linguistique la cybernétique va aussi exercer son influence sur la sémiotique.

La sémiotique est la science des signes et des systèmes de signes. Les impulsions initiales ont été données à la sémiotique par les travaux du philosophe américain Charles Peirce (1839-1914) et du philologue et anthropologue suisse Ferdinand de Saussure (1857-1913) qui ont étudié la nature du signe et du langage, donnant naissance à l'idée d'une discipline unique étudiant tous les systèmes de signes. La sémiotique contemporaine s'est constituée en science indépendante dans les années cinquante aux frontières de la linguistique structurale, de la cybernétique et de la théorie de l'information. Elle avait été préparée par les travaux

des formalistes russes, l'analyse structurale des contes par Vladimir Propp et l'œuvre du danois Hjelmslev.

Tout comme la linguistique structurale, la sémiotique utilise une définition du signe comme élément d'un système. C'est cette réalité du système qui caractérise l'approche structuraliste ; le signe ne prend un sens que par ses rapports avec les autres signes et n'a aucun sens par lui même. La sémiotique joue un rôle central dans le Structuralisme, au point que les deux démarches sont bien souvent confondues. A partir des années cinquante, l'idéologie structuraliste dans ses multiples applications sémiotiques rencontre la cybernétique, avec en commun le déplacement d'intérêt de l'objet vers les relations.

On peut distinguer trois groupes de travaux sémiotiques selon la tradition et le courant dans lequel ils s'insèrent. Ces écoles se différencient nettement selon les pays :

- a) dans les pays de culture anglo-saxonne, les Etats Unis en particulier, la sémiotique se place sous l'influence de G.S. Peirce. Elle cherche à développer une théorie générale des signes et des faits de communication, avec un caractère philosophique nettement marqué. Chez Ch. Morris s'élabore une conception béhavioriste du signe et la sémiotique se veut surtout une étude du comportement symbolique.
- b) en URSS c'est la théorie de l'information et la cybernétique qui influencent les sémioticiens, que ce soit dans l'école de Moscou (V.V. Ivanov, V.N. Toporov, I.I. Revzin et de nombreux mathématiciens et cybernéticiens intéressés par la linguistique comme A.N. Kolmogorov, A.A. Lyapounov, A.L. Dobrushin et B.A. Ouspensky) ou dans l'école de Tartu (I. Lotman). L'apport original de la sémiotique soviétique se trouve dans le domaine de l'étude des signes supra-linguistiques et le développement d'une sémiotique de la culture.
- c) en France domine la tradition linguistique saussurienne qui en fait s'identifie plus ou moins au mouvement structuraliste. Elle s'inspire largement de travaux de Claude Lévi-Strauss sur les systèmes de parenté et

s'intéresse à la littérature, aux mythes, à la mode... Les travaux les plus marquants sont ceux d'A. Greimas et de R. Barthes.

C'est l'application de la démarche structuraliste en anthropologie avec l'œuvre de Claude Lévi Strauss (Les structures élémentaires de la parenté. 1949) qui va déclencher, essentiellement en France, un mouvement scientifique et philosophique d'une certaine ampleur : le Structuralisme. Un courant d'idées qui semblait renouveler tout le champ de vision des sciences humaines, en accord avec les notions de structures sociales du marxisme et les affirmations de la psychanalyse sur le caractère inconscient des motivations humaines profondes. Un large mouvement philosophique d'une grande vigueur intellectuelle et avec un certain rayonnement international, bien qu'il ait été quelquefois qualifié de toquade née de l'intellectualisme effréné des Français ou qu'il soit rabaissé au rang de simple incident dans une querelle de chapelle parisienne contre l'existentialisme, le marxisme ou la psychanalyse.

Malgré les affirmations initiales contraires de Lévi-Strauss qui évite de confondre la réalité et son expression mathématique, le public va se laisser abuser par l'idée d'une ontologie de la structure qui sous tendrait l'ensemble des activités humaines. Une erreur d'appréciation venant de la non mise en perspective, tout au moins en France à la différence de l'URSS, du structuralisme et de la cybernétique, permettant de comprendre le rôle et la nature de la modélisation. Le succès du structuralisme s'accompagne souvent d'une mauvaise compréhension de l'épistémologie des modèles. C'est là sans doute aussi la raison de bien des erreurs d'appréciation de la véritable nature de la cybernétique. La confusion entre structure-modèle et structure-essence. Chassez l'ontologique il revient au galop. On n'arrive pas à se résoudre à ce qu'un modèle, si utile soit il, ne soit pas une théorie, mais un simple simulacre. Lévi-Strauss lui même s'est orienté toujours davantage vers un naturalisme ou un réalisme de la structure, c.a.d. vers un structuralisme ontologique et non plus

seulement méthodologique. Le structuralisme ne ferait que redécouvrir les lois de la nature, la structure étant en définitive inscrite dans le biologique, comme le prétendent aujourd'hui certains généticiens.

Et pourtant au départ, la révolution lévi-straussienne consiste à débiologiser le phénomène universel de prohibition de l'inceste, interdiction universelle des relations sexuelles entre certains individus apparentés, à le sortir à la fois du schéma simple de la consanguinité et de considérations morales ethnocentriques. En considérant que la parenté est fondée sur l'alliance et que le mariage est une forme d'échange, Lévi-Strauss relie l'aspect négatif de la prohibition de l'inceste à l'aspect positif de l'échange matrimonial. L'hypothèse structuraliste opère là un déplacement de l'objet pour lui restituer pleinement son caractère de transaction et de communication qui s'instaure avec l'alliance matrimoniale. Elle voit là la règle fondamentale qui articule le passage de la nature à la culture, de la parenté donnée biologique à l'union qui relève de la décision et du rapport à autrui. La prohibition de l'inceste n'est donc pas une loi biologique de la nature humaine mais la règle qui permet la gestion des femmes de la communauté en obligeant la femme à quitter son milieu naturel de naissance pour prendre un époux dans un milieu culturel composé d'étrangers à sa propre famille.

Lévi-Strauss sort donc d'une analyse en termes de filiation, de consanguinité, pour montrer que l'union des sexes est l'objet d'une transaction prise en charge par la société, qu'elle est un fait social et culturel. La prohibition n'est plus perçue comme fait purement négatif, mais au contraire comme fait positif créateur du social. Quant au système de parenté, il s'analyse comme relevant d'un système arbitraire de représentation, à la manière de l'arbitraire du signe saussurien.

Pour bien marquer le caractère de sa démarche Lévi Strauss requiert les services des mathématiques structurales du groupe Bourbaki, grâce à une rencontre avec le mathématicien André Weil, qui écrit l'appendice mathématique du livre. Ce qui confirme le sens de la méthode employée qui procède au déplacement de l'attention aux termes des relations à la prévalence accordée aux relations elles mêmes entre ces termes,

indépendamment de leur contenu. La formalisation mathématique du travail de Lévi-Strauss ayant donné lieu à certaines critiques, une reformulation rigoureuse axiomatisée en a été faite en 1955 par le jeune mathématicien Philippe Courrège.

Le caractère cybernétique du structuralisme apparaît clairement dans ce texte de Lévi-Strauss republié en 1958 dans son recueil intitulé 'Anthropologie structurale' et où il insiste sur la notion de modèle (p.305):

« Le principe fondamental est que la notion de structure sociale ne se rapporte pas à la réalité empirique, mais aux modèles construits d'après celle-ci. Ainsi apparaît la différence entre deux notions si voisines qu'on les a souvent confondues je veux dire celle de *structure sociale* et celle de *relations sociales*. Les *relations sociales* sont la matière employée pour la construction des modèles qui rendent manifeste la *structure sociale* elle-même.....

Il s'agit alors de savoir en quoi consistent ces modèles qui sont l'objet propre des analyses structurales. Le problème ne relève pas de l'ethnologie mais de l'épistémologie, car les définitions suivantes n'empruntent rien à la matière première de nos travaux. Nous pensons en effet que pour mériter le nom de structure, des modèles doivent exclusivement satisfaire à quatre conditions.

En premier lieu une structure offre un caractère de système. Elle consiste en éléments tels qu'une modification quelconque de l'un d'eux entraîne une modification de tous les autres.

En second lieu tout modèle appartient à un groupe de transformations dont chacune correspond à un modèle de même famille, si bien que l'ensemble de ces transformations constitue un groupe de modèles.

Troisièmement les propriétés indiquées ci-dessus permettent de prévoir de quelle façon réagira le modèle, en cas de modification d'un de ses éléments.

Enfin, le modèle doit être construit de telle façon que son fonctionnement puisse rendre compte de tous les faits observés ».

Cybernétique et structuralisme poursuivent les mêmes buts : désontologisation et modélisation du comportement. On a même pu dire que sans la poussée scientiste de la cybernétique, le structuralisme n'aurait jamais eu le retentissement qu'on lui connaît. Et ce malgré une mauvaise perception qui dure jusqu'à nos jours, de la nature véritable de la cybernétique qui en fait une démarche épistémologique et non pas une discipline technico-scientifique.

De la chute de l'utopie cybernéticienne à l'empire cybernétique.

Dans les années 70, la vogue de l'étendard cybernétique s'estompe, et si le terme garde un certain emploi en U.R.S.S., c'est en tant qu'équivalent d'informatique. Effectivement la vague informatique ensevelit le cybernétique, en en rendant par ailleurs les motivations confuses. L'échec de la cybernétique est tout d'abord du à son incapacité à concrétiser l'utopie d'unité des savoirs qu'elle promouvait et qui explique son succès initial. Les perspectives d'une modélisation abstraite et donc universelle des systèmes dynamiques complexes ont été déçues par l'absence de méthodes concrètes de modélisation. Aucun traité de cybernétique n'a vu le jour, où l'on enseignerait les procédés de construction des boîtes noires, les voies de définition de l'état et les principes permettant de trouver la forme de l'équation d'évolution de l'état. La cybernétique, contrairement à la physique théorique, n'a pas su formuler des équations ou des principes généraux liés à des considérations d'optimalité ou de symétrie. Et la notion fétiche de

feedback s'avère très difficile à concrétiser sur le terrain. La spécificité des systèmes est très difficile à réduire.

De plus, la cybernétique subit la concurrence de disciplines, qui malgré leur esprit cybernétique, se développent indépendamment de la doctrine historique mère.

C'est en particulier le cas pour la théorie des circuits électriques, outil de base de l'ingénieur électricien et électronicien. La construction des circuits équivalents se pratique avec des règles précises que les élèves ingénieurs apprennent à manipuler. Ce faisant ils construisent de véritables modèles cybernétiques. C'est là une pratique d'ingénieurs qui a inspiré la doctrine cybernétique sans pour autant la servir dans ses ambitions.

Historiquement la cybernétique s'est constituée à l'ombre de la théorie du contrôle automatique et lui est redevable de bien des concepts. Elles ont en commun la représentation du système par l'espace des états. Mais après la deuxième guerre mondiale l'automatique prend un essor autonome qui doit peu à la cybernétique et se fonde sur la formulation de principes optimaux (Bellman, Pontriaguine) et la théorie du signal.

Le programme cybernétique va par ailleurs se trouver supplanté par le développement dramatique de la théorie qualitative des systèmes dynamique non linéaires. Une théorie mathématique abstraite des systèmes d'équations différentielles issue de l'élargissement de la théorie générale des vibrations, et promouvant des concepts universels comme l'auto oscillation, l'auto organisation, les bifurcations et le chaos.

A l'ambition de décrire les systèmes dynamiques complexes par le modèle automate-information, en se focalisant sur le couple entrée-sortie, succède l'analyse qualitative du comportement dans l'espace de phase (espace des états), en se restreignant à l'étude des états asymptotiques. Une analyse qui ne récuse pas le programme cybernétique dont elle récupère les concepts clés d'entropie, d'information et de rétroaction, mais qui le relègue du devant de la scène en l'accomplissant selon une démarche historique distincte. Avec la vogue d'un nouveau modèle universel, d'un nouvel outil de simulacre rendu opérationnel par l'ordinateur : l'automate cellulaire. Ce que S. Wolfram, non sans

raison, appelle « A new kind of science », où l'ordinateur remplace l'analyse mathématique traditionnelle.

Pour comprendre comment la théorie des systèmes dynamiques non linéaires ravit la vedette à la cybernétique en satisfaisant à des ambitions analogues, il suffit de produire la liste (à la Prévert) des phénomènes où se manifeste la structure d'auto oscillateur. Une liste inaugurée en 1928 par Van der Pol, le grand radioélectricien, et brillamment augmentée depuis :

« une harpe éolienne, un marteau pneumatique, le bruit grincent d'un couteau sur une assiette, le flottement d'un drapeau au vent, le bruit bourdonnant que fait parfois un robinet d'eau, le grincement d'une porte, le multivibrateur d'Abraham et Bloch, le tétrode multivibrateur, les étincelles périodiques produites par une machine de Wimshurst, l'interrupteur de Wehnelt, la décharge intermittente d'un condensateur à travers un tube au néon, la manifestation périodique d'épidémies et de crises économiques, la densité périodique d'un nombre pair d'espèces d'animaux vivant ensemble et dont une des espèces sert de nourriture à l'autre, le sommeil des fleurs, la manifestation périodique d'averses derrière une dépression, les frissons de froid, la menstruation, les battements cardiaques.....les horloges, les émetteurs radio et de télévision, le maser et le laser, de nombreuses réactions chimiques oscillantes, l'émission périodique des hormones, certaines étoiles variables comme les céphéides, le violon et la clarinette... »

Tous ces systèmes produisent des phénomènes périodiques à partir de sources d'énergie sans périodicité, par l'effet de la dissipation et de la rétroaction. De l'ordre à partie d'un désordre bien contrôlé. La nature est un violon. Une vision unitaire à faire pâlir d'envie la cybernétique.

N'ayant pas réussi à s'imposer sur le plan des résultats la cybernétique a cependant vu son idéologie de la modélisation devenir une des composantes essentielles de la pensée

contemporaine. Au point qu'un auteur comme C. Lafontaine a pu parler de la constitution d'un « empire cybernétique ». Cette empreinte idéologique sur la culture provient de ce que « Matrice de la techno science, la cybernétique correspond dans les faits à un projet de connaissance axé sur le contrôle opérationnel plutôt que sur la recherche fondamentale destinée à mieux comprendre un phénomène donné ». La cybernétique, en concrétisant un besoin de représentation du réel aux prises avec les difficultés de l'objet « en soi » a fini par s'identifier à toutes les tentatives d'escamotage du sujet au profit d'un champ de relations. Devenant ainsi une des positions fortes de l'épistémologie contemporaine à travers des courants comme le constructivisme⁸ ou le réalisme structural⁹.

Art et cybernétique.

La cybernétique est donc une doctrine, une stratégie, une méthodologie, un état d'esprit, une idéologie même, au cœur d'une culture. Ce faisant lorsque des artistes ont recours à l'appellation cybernétique, il est inévitable de voir surgir des œuvres dont l'inspiration fait appel à des concepts popularisés par la cybernétique sans pour autant représenter de véritables applications de la cybernétique. Emprunts conceptuels et interprétations métaphoriques constituent la chair de l'art dit cybernétique, s'il en est vraiment. Les artistes n'appliquent pas là une connaissance profonde d'un domaine scientifique, mais nourrissent leur imagination d'éléments d'emprunt disparates, qu'ils contribuent à leur tour à populariser. Aussi est-il sans doute plus pertinent de parler non pas de l'influence de la cybernétique sur l'art, mais de convergences entre la pensée de l'art et la pensée

⁸ Le constructivisme est une attitude épistémologique considérant que la connaissance ne consiste pas à prendre acte de la réalité mais se trouve le résultat d'une construction mentale. Une attitude opposée au réalisme, à l'empirisme et au positivisme. La cybernétique de par sa vocation modélisatrice est éminemment constructiviste.

⁹

Le réalisme structural pense qu'à l'intérieur d'un cadre théorique donné, ce ne sont pas les entités théoriques qui sont douées de réalité mais les relations entre ces entités. Les théories ne nous parlent pas des objets dont le monde est fait mais de structures et de relations. Il existerait des isomorphismes entre les lois de la nature et leur représentation mathématique. Une bonne théorie serait donc un reflet de la réalité structurale de la nature. Une telle pensée sous-tend toute l'activité de modélisation et de simulation en cybernétique.

de la cybernétique, dans la mesure où celle-ci s'avère un carrefour idéologique essentiel à l'esprit de notre temps. C'est ce qu'a bien compris l'historien d'art Edward Shanken, qui intitule une étude sur l'œuvre de l'artiste et du théoricien Roy Ascott : « Cybernetics and art : cultural convergence in the sixties ».

« Puisqu'il est notoire que les artistes s'adressent à un ensemble de sources extrêmement varié, mettre en correspondance la cybernétique et l'histoire de l'art est au mieux une science imprécise. De fait de nombreux artistes du XX^{ème} siècle ont expérimenté les processus, la cinétique, l'interactivité, la participation des spectateurs, le déroulement temporel, le rôle de l'environnement, et leur œuvre peut être interprétée sans avoir recours à la cybernétique, mais en se fondant tout d'abord sur les tendances esthétiques qui sont devenues de plus en plus centrales dans la pratique esthétique de l'après seconde guerre mondiale....

Selon ces voies, l'art expérimental du XX^{ème} siècle a eu tendance à se focaliser sur la temporalité, à mettre l'art en mouvement, à employer le concept de feedback, et à faire appel à l'interaction avec le spectateur. D'une manière générale, ces œuvres mettent en valeur le processus artistique en l'opposant au produit et accentuent le rôle de l'environnement ou du contexte (le contexte social en particulier) en l'opposant au contenu conventionnel. Ce sont ces tendances qui concourent à la formation du contexte esthétique où la cybernétique converge avec l'art ».

C'est qu'il faut bien faire la part des choses entre la cybernétique comme méthodologie scientifique et technique et la cybernétique comme doctrine de philosophie naturelle. Il faut bien se rendre compte que dans ce second rôle la cybernétique est déformée et adaptée, sinon même faussée, pour les besoins d'une vision du monde. Les concepts cybernétiques perdent leur rigueur au profit de concepts utilisés de manière floue pour les besoins d'un discours plus préoccupé d'images et de métaphores que de précision scientifique.

Ainsi le concept d'information est sans cesse utilisé d'une manière vague, comme concept d'appel, sans préciser aucunement sa définition (scientifiquement délicate) et en confondant sans cesse information et signal (données), sans même parler de l'emploi incessant d'une notion d'information sémantique, intuitivement concevable mais jusqu'à présent non définie en théorie de l'information.

Quant au feedback que la cybernétique définit avec précision comme une modification de l'entrée dans un système ouvert en fonction de la sortie, il est sans cesse confondu avec la notion physique de réaction. Rendre une claque quand on en reçoit une est une réaction ; le feedback cybernétique consisterait à couper les vivres à l'auteur de la claque. C'est une représaille et non pas une réaction.

La philosophie cybernétique des artistes se préoccupe bien peu de ce qui constitue les difficultés majeures de la cybernétique technique : la définition de l'état, l'identification et la formulation précise du feedback. C'est une chose de dire qu'un être vivant est un système ouvert avec feedback sur son environnement, c'en est une autre de formuler mathématiquement ce feedback dans un modèle. La modélisation du vivant nous échappe toujours, malgré de nombreux discours sur la vie artificielle.

Les artistes (en compagnie des philosophes d'ailleurs) utilisent les concepts cybernétiques d'une manière beaucoup plus rhétorique que scientifique, s'autorisant comme toujours d'une liberté poétique et esthétique vis à vis des concepts scientifiques. Il ne faut pas être dupe en attribuant à ces discours et aux pratiques qui les accompagnent une valeur scientifique que les apparences laisseraient entendre. C'est là le fond de la fameuse affaire Sokal - Bricmont, engendrée par un article de mystification écrit par un physicien et publié par une revue de sciences humaines, et qui dénonce un usage délirant de la terminologie scientifique.

On peut dénoncer de même l'utilisation de la science comme caution pour des idées intuitives chères aux artistes.

Un exemple à méditer est celui du langage utilisé pour caractériser les couleurs par les peintres et les critiques d'art à la fin du XIX ème siècle et au début du XX ème siècle, où l'on mélange sans cesse les propriétés optiques de la lumière et les

caractéristiques perceptives de la couleur. Dans son remarquable article : « Physique et métaphysique de la couleur », Georges Roque rappelle que :

«nombreux sont en effet les pionniers de l'art abstrait qui se sont emparés de la conception de la lumière et des couleurs comme vibrations. Parmi eux on peut citer au moins Kandinsky, Balla, Larionov, Delaunay, Vantongerloo et Kupka.... Pourquoi cet intérêt si marqué de cette génération d'artistes pour cette théorie vibratoire des couleurs, dont chacun en fonction de sa sensibilité, fera une interprétation différente ? La raison en est me semble-t-il qu'elle permettait de classer les couleurs et de leur conférer une valeur sémantique. Or ces peintres étaient justement en train de s'essayer de s'affranchir de la représentation. En ce sens ces théories leur fournissaient ce dont ils avaient le plus besoin : à la fois une syntaxe des rapports possibles entre couleurs, et une symbolique, ou une sémantique tirée des propriétés physiques des couleurs. »

Ainsi les artistes s'emparent d'îlots scientifiques, non sans détournements, pour justifier leur propre démarche. Le statut de l'artiste fait toujours problème.

C'est ce qui se produit dans la plupart des cas où l'on invoque la cybernétique.

L'art du XX ème siècle a sa propre démarche et n'est pas à la remorque des conceptions de la science. Mais tout comme la science il est le reflet des grands courants d'idées qui caractérisent l'époque, eux mêmes façonnés en retour par les accomplissements de l'art et de la science.

La grande affaire du XX ème siècle c'est l'abstraction et la formalisation. Les mathématiques (logique, axiomatisation, structures, langages formels), la physique (théories axiomatiques, structuralisme physique) s'y engagent tout comme la peinture abstraite ou la musique. Les sciences humaines s'y risquent dans la démarche structuraliste. La cybernétique, dans son ambition de devenir une théorie générale abstraite des systèmes ouverts

complexes, est une forme avérée de structuralisme. L'ordinateur lui même est une machine abstraite.

L'esprit du temps est dans une valorisation des relations et des processus au dépens de la substance. A un univers de l'ordre, de la régularité, de la simplicité, de la nécessité qui s'incarne dans les choses, succède un univers du désordre, de l'irrégularité, de la complexité et de la contingence, qui s'exprime à travers les processus. Notre vision du monde fait passer au premier plan des concepts dématérialisés comme le processus ou l'information. La conception de la boîte noire trouve naturellement sa place dans cette nouvelle ontologie dominante.

Les discours philosophiques de la cybernétique cristallisent en fait bien des composantes de cette nouvelle vision du monde, favorisant ainsi leur réception et leur succès. C'est ce qui pousse les artistes à utiliser ce langage dans la mesure où il exprime leurs préoccupations fondamentales. Sans pour autant utiliser véritablement la cybernétique dont ils ignorent les réalités profondes.

La cybernétique apparaît en effet dans le monde en modification profonde dans l'immédiate après guerre. On y assiste à l'étiollement de l'idéologie individualiste qui dominait l'occident depuis la fin du Moyen Age et à la naissance de ce que l'on nommera plus tard la condition « post moderne » ou le « post humanisme ». Ceci provient de ce que le sentiment que l'Homme a de son rapport au Corps Social évolue lentement, influençant profondément l'image qu'il se fait de lui même et de la nature.

L'idéologie individualiste, « l'humanisme » pour certains, est née du développement du monde marchand et des villes, et répondait à l'élaboration d'une conception civique de l'individu. Une conception de la collectivité dont le citoyen est le membre constitutif, une volonté agissante possédant des droits personnels. Cet essor de l'idéologie individualiste, lié à l'essor économique de la bourgeoisie, se développe parallèlement à une idéologie de la marchandise. Individus comme marchandises sont des objets mobiles, interchangeable, discernables, communicables. La circulation des marchandises crée une image d'un monde des objets qui sera à la source de la naissance du Mécanisme et de la

renaissance de l'Atomisme. L'individualisation constitue le mythe fondateur d'une société plus préoccupée de l'administration des choses que du gouvernement des hommes. Le pouvoir est dans les choses.

Le milieu du XX^{ème} siècle voit émerger un univers de la communication où ce qui circule d'une manière marchande c'est la connaissance et le savoir. Le pouvoir est dans l'information. Ce qui provoque une rupture des cadres sociaux anciens transformant l'individu agissant en individu relationnel, élément relais d'un immense réseau de communication. L'intériorité de l'individu s'efface au profit de son extériorité. Son interaction avec l'environnement devient la composante essentielle de son existence. Pour paraphraser une formule célèbre on assiste à l'apparition de « l'homme sans intérieur » dans une société du contrôle des hommes. C'est cette idéologie que la cybernétique contribue à développer avec sa conception emblématique de la boîte noire. L'attention se déplace de la nature des systèmes ou des objets, à la phénoménologie des relations représentées par les entrées-sorties.

Les artistes répondent spontanément à ce nouveau bain idéologique en explorant les aspects interactifs de l'œuvre d'art et en cherchant à solliciter la participation du spectateur. L'œuvre d'art acquiert un aspect performatif et ne prend de signification qu'en fonction d'un contexte. L'œuvre se réduit aux signaux qu'elle échange, avec la possibilité d'exprimer son codage universel sous des formes variées, empruntant divers médias. L'œuvre devient un modèle universel abstrait des relations de l'homme à son environnement, et se prête à tous les simulacres. Un art béhavioriste. Toutes ces démarches font partie de l'air du temps et sont en résonance profonde avec l'esprit de la cybernétique, que l'artiste s'en réclame explicitement ou non.

La rencontre culturelle entre l'art et la cybernétique s'exprime clairement à la faveur du mouvement structuraliste. Limité à la France, son influence sur l'art est d'autant plus marquée que c'est un mouvement aux larges assises intellectuelles, en accord bien souvent avec l'esprit du marxisme et celui du freudisme, dont le succès est dû à des facteurs bien plus profonds qu'une simple mode. Le structuralisme semble en effet s'infiltrer

en France au niveau de l'enseignement secondaire, où il vient fournir une doctrine de remplacement pour l'enseignement de la littérature.

Dans les années 60 marquées par le développement économique, de fortes transformations sociales et la très grande croissance des effectifs scolaires, les finalités de la culture scolaire deviennent plus incertaines. Dans cette période de modernisation et de technicisation de l'économie française, de pénurie d'ingénieurs et de techniciens supérieurs, l'utilité sociale de l'étude de la littérature n'a plus rien d'évident. En tout cas d'une étude fondée sur les valeurs humanistes et l'esthétique pure. Le déclin de l'idéologie humaniste s'accompagne dans ces conditions d'une crise de l'humanisme littéraire, pilier jusque là indiscuté de l'enseignement secondaire. On a pu expliquer le succès du structuralisme en France par le fait qu'il fournissait à l'enseignement de la littérature une nouvelle rationalité en substituant à l'Homme le Signe, le Texte et l'Écriture. Concrétisant par là des courants à l'œuvre dans la littérature depuis l'époque symboliste et clairement manifestes dans l'art abstrait depuis le début du siècle. Le structuralisme vient épauler l'art abstrait et instaure le formalisme en littérature. Même si, de manière anecdotique, Claude Lévi-Strauss, par goûts personnels, considérait que l'art abstrait n'était pas de l'art car il manquait de référents.

Telle que la voit le structuralisme, la littérature n'a rien à voir avec le réel, elle renvoie à un système de textes mais pas au monde. De plus sous l'influence du formalisme russe elle s'intéresse à la lettre du texte, à sa littéralité, à son usage des formes linguistiques : non pas à ce qu'il dit (le monde qu'il décrit, la psychologie des personnages), mais comment il le dit. Ainsi Jean Ricardou a pu dire que : « Le roman n'est plus l'écriture d'une aventure, c'est l'aventure d'une écriture ».

On retrouve là une évolution générale de l'art du XX^e siècle vers la mise en valeur du processus artistique en l'opposant au produit, en exposant les moyens au dépens du résultat. De la même manière le texte structuraliste n'est plus un produit, c'est une production. Il met en jeu le signifiant, un signifiant qui prime sur le signifié. Une gesticulation du signe qui donne à l'œuvre un

caractère différent. De simulation elle devient simulacre. Roland Barthes le dit sans ambages : « Le but de toute activité structuraliste, qu'elle soit réflexive ou pratique est de reconstituer un « objet » de façon à manifester dans cette reconstitution les règles de fonctionnement de cet objet. La structure est donc en fait un simulacre de l'objet ».

Cybernétique, structuralisme et modernisme esthétique de la mise en scène des moyens, un même combat.

Cette substitution d'intérêt pour le processus au dépens de l'objet produit va se manifester dans de nombreux domaines autres qu'artistiques à partir des années 60. On peut voir là sans doute l'effet de la diffusion de l'idéologie cybernétique. Ainsi dans la philosophie des sciences, on voit à partir des années 60 l'attention se porter sur les processus de production de la science plutôt que sur les théories constituées, avec un intérêt particulier pour le contexte social. Une démarche cybernétique donnant à la science le statut de système ouvert et favorisant les conceptions constructivistes. Le livre de Thomas Kuhn, 'Structure of scientific revolution' (1962) a été un moment essentiel de ce changement d'attitude.

Artistes cybernéticiens ?

Il faut reconnaître que la cybernétique technique relève de l'art de l'ingénieur, et que même si des ingénieurs se risquent à produire des 'œuvres d'art', l'appellation d'art cybernétique recouvre des pratiques diverses qui ne constituent en rien une cybernétique appliquée. Le terme de cybernétique constitue en fait un emblème pour désigner un ensemble de pratiques artistiques utilisant des technologies électroniques ou informatiques pour concrétiser un grand nombre d'idées prégnantes dans la culture contemporaine, en particulier celles de mouvement et d'interactivité. En fait le mot cybernétique recouvre l'utilisation de systèmes ouverts avec ou sans

rétroaction, comportant éventuellement une partie informatique, sans aucune référence à la modélisation cybernétique.

La fin des années soixante est marquée par la montée du besoin d'un renouveau social et intellectuel engendré par l'après guerre et le développement économique qui l'a accompagné. Pour les artistes il semble essentiel de s'affranchir des modes anciens d'expression et ils croient trouver naturellement de nouvelles voies dans la multiplication des nouveautés technologiques. Le terme de cybernétique sert alors de drapeau, en cette époque de l'informatique naissante, pour désigner un état d'esprit lié aux espoirs de transformation de la société grâce à la technologie.

Des hommes vont jouer le rôle de catalyseurs dans ces rencontres entre l'art et la technologie : Gyorgy Kepes, Billy Klüwer et Jack Burnham.

Gyorgy Kepes est un artiste hongrois, venu de la photographie et du cinéma. Influencé par le Bauhaus et le Constructivisme, il s'établit en Amérique en 1937, invité par Laszlo Moholy Nagy avec lequel il avait collaboré à Berlin. En 1945 il devient professeur au MIT. C'est là qu'il fonde en 1967 le « Center for Advanced Visual Studies » (CAVS) pour concrétiser ses efforts en vue de relier les arts visuels et les sciences. Ce centre existe toujours, mais avec des fortunes diverses, et il se trouve aujourd'hui concurrencé par le fameux Media Lab du MIT, qui privilégie l'emploi de l'ordinateur dans l'art. Le rôle du CAVS était plutôt considéré par Kepes comme celui d'une passerelle entre l'art et les sciences. Kepes, dans ses ouvrages : « The language of vision » (1944), « The new landscape of art and science » (1956), insistait sur les analogies entre les images produites par la science et celles fournies par l'art, et souhaitait une collaboration entre artistes et savants sur les problèmes de visualisation. Kepes se trouvait au MIT dans une atmosphère de grande interdisciplinarité où les recherches sur le radar, l'électronique et les systèmes de communication fleurissaient. Il en concevait le besoin de voir l'art et la science interagir, contribuant sans doute ainsi à cet idéal d'unité qui a sous-tendu la naissance de la cybernétique. Mais malgré la présence de Norbert Wiener au

MIT on ne constate pas d'influence directe de la pensée cybernétique sur Kepes.

Tout comme d'ailleurs on ne trouve pas d'artistes participant au développement du mouvement cybernétique, alors que celui ci englobe bien des champs de la connaissance. C'est que les artistes ont besoin de passeurs qui leur montre l'intérêt d'une discipline scientifique pour leur activité créatrice. Malheureusement ces passeurs sont rares. Et ils livreront plutôt le message de la théorie de l'information que celui de la cybernétique, orientant l'art vers la mécanique statistique plutôt que vers la théorie du contrôle. C'est le cas d'Abraham Moles (« Théorie de l'information et perception esthétique » 1958) et de Max Bense (« Einführung in die Informations theoretische Aesthetik » 1960).

C'est d'ailleurs d'une manière générale, l'information, le code, le message qui se voient valorisés, en particulier dans les applications linguistiques. Témoin le cas de Roman Jakobson, le linguiste, qui se trouve aussi au MIT avec Noam Chomsky. En littérature, comme en musique, c'est la théorie de l'information qui se diffuse, et inspire des créateurs et des critiques. Le cœur dur de la cybernétique, comme science de la modélisation abstraite des systèmes dynamiques, est rarement invoqué, même s'il s'apparente aux démarches formalisantes des structuralistes. Belle occasion ratée d'une réflexion profonde sur l'art abstrait. Epoque prématurée, où avant les années 70, la nouvelle science des systèmes dynamiques non linéaires, n'est pas apparue sur le devant de la scène.

A vrai dire l'emploi du terme d'art cybernétique ne se distingue souvent pas de celui de computer art, art créé par ordinateur. Ce qui pourrait parfois se justifier en arguant que l'ordinateur joue un rôle de boîte noire.

Les premières expositions de computer art furent l'œuvre de scientifiques : Bela Julesz et Michael Noll aux USA, Georg Nees et Frieder Nake en Allemagne. Aux Etats Unis les recherches avaient lieu aux Laboratoires Bell. En Allemagne les travaux se déroulaient à la Technische Universität de Stuttgart, sous

l'influence de Max Bense, le fameux théoricien de l'esthétique informationnelle.

Ce n'est que dans une seconde étape que les artistes se trouvèrent impliqués, en particulier dans la mythique exposition : 'Cybernetic serendipity. The computer and the arts', organisée à Londres (1968) par Jasia Reichard, sur une suggestion de Max Bense.

Cette exposition comportait trois sections :

- 1. Œuvres graphiques, filmiques, musicales et poétiques engendrées par ordinateur.**
- 2. Robots cybernétiques, machines à peindre.**
- 3. Machines démontrant l'usage des ordinateurs et présentation de l'histoire de la cybernétique.**

Seule la seconde section méritait vraiment l'appellation cybernétique. On y trouve surtout des machines ou des robots signés Tinguely ou Nam Jun Paik. Il s'agit en fait de machines qui attirent notre attention non pas par leur structure, mais par leur mouvement et leurs réponses à des sollicitations variées, en transformant du son en lumière et de la lumière en mouvement.

Les années 60 voient apparaître et se répandre les nouvelles technologies développées dans l'après guerre et liées à l'électronique (en particulier l'usage du transistor dans les dispositifs de communication et de calcul). Une ambiance technologique s'installe, affectant les initiatives artistiques au point de susciter des démarches explicites de mise en relation de l'art et de la technologie. Avec le sentiment très net que la technologie de la machine mécanique cède la place à la technologie de l'information. L'exposition organisée en 1968 au Museum of Modern Art of New York (MOMA) par Ponthus Hulten : 'The machine : As seen at the end of the mechanical age', en est le témoignage. La partie contemporaine était constituée par des oeuvres primées dans un concours organisé par l'association 'Experiments in Art Technology' (EAT). Association fondée en 1966 par les ingénieurs de Bell Labs, Billy Klüver et Fred Waldhauer, et les artistes Robert Rauschenberg et Robert Whitman. Les réalisations spectaculaires de cette collaboration entre artistes et ingénieurs, comme ' 9 Evenings : Theatre and

engineering’ en Octobre 1966 ou le Pavillon de Pepsi Cola pour l’Exposition Internationale d’Osaka en 1970, n’étaient cependant pas centrées sur l’utilisation artistique des technologies de l’information.

‘Cybernetic Serendipity’ constituait une première et sera suivie en 1970 par l’exposition ‘ Software, Information technology :Its new meaning for art’ au Jewish Museum of New York, organisée par le critique d’art Jack Burnham.

M.A.M. Bijvoet caractérise ainsi la pensée influente de Jack Burnham :

« Il était clair pour Burnham que les arts visuels commençaient à s’adapter à une nouvelle situation, où l’on se mettait à tracer des parallèles entre le développement des sciences et de la technologie et les arts visuels, comme il le faisait dans son livre Beyond Modern Sculpture (1968). Il considérait que l’art avait dorénavant évolué, passant du stade ‘objet d’art’ à celui de ‘système d’art’, ce qui impliquait que la nouvelle œuvre d’art ou la sculpture se trouvait caractérisée par un ensemble de relations, et n’était plus définie par ses limites, en accord avec les concepts de la théorie des systèmes et de la cybernétique, qui devenaient rapidement populaires ».

On voit bien là s’infiltrer dans le domaine de la pensée artistique le cœur dur de la philosophie cybernétique, où l’intérêt est transféré de l’objet vers les relations, valorisant ainsi les processus de contrôle et de transmission de l’information.

Selon Burnham, le but de l’exposition ‘Software’ était de se focaliser sur les systèmes de traitement de l’information. Il ne doutait pas de ce que les technologies de l’information et de la communication allaient pénétrer notre existence quotidienne et modifier notre perception esthétique.

En fait Burnham tirait ses idées du système d’art de la théorie générale des systèmes de Ludwig Bertalanfly. Son appartenance au CAVS au MIT, à partir de 1968, le mettait en contact avec toutes les idées et les technologies qui s’y développaient.

Pour Burnham le remplacement de l'objet par le système signifiait que les nouvelles formes d'art n'étaient plus définies par une forme ou une frontière précise, mais se comportaient comme un système qui se modifie dans l'espace et le temps selon des mécanismes internes et des conditions externes.

Dans les années 60 l'emploi par les artistes des nouvelles technologies (l'ordinateur, la vidéo, la télévision et les moyens de communication) servait de voie à la pénétration des idées de la cybernétique. Les déclarations et les écrits d'artistes comme Robert Smithson, Ryan et Nam June Paik montrent qu'ils étaient au courant de ces idées et qu'elles les influençaient au plan artistique. Paul Ryan en particulier décrivait l'utilisation de la vidéo en relation avec la cybernétique et la théorie des systèmes.

Mais à partir du milieu des années 70 toutes ces démarches s'affaiblirent et, mise à part la vidéo, l'art numérique s'effaça du devant de la scène. Il faut sans doute y voir là la preuve du rôle joué par l'idéologie cybernétique dans la promotion de l'art technologique, entraînant sa décadence au moment même où la cybernétique passe de mode. Phénomène révélateur du rôle porteur des idéologies dans les mouvements culturels. Malgré les énormes développements de l'usage de l'ordinateur, l'art numérique n'a pas vu sa popularité s'accroître significativement, sans doute faute d'un soutien idéologique convenable.

Il n'en reste pas moins, que tout en passant à l'arrière plan, la cybernétique laisse derrière elle, active, l'ambiance idéologique et culturelle qui l'avait un moment portée aux nues. Et les artistes soucieux d'exprimer de nouvelles conceptions esthétiques vont souvent sciemment invoquer la cybernétique pour couvrir leur démarche. Justifiant par là non pas l'influence de la cybernétique sur l'art, mais la convergence entre la cybernétique et le développement de nouvelles esthétiques au XX^e siècle. On ne peut manquer de remarquer en effet que le glissement de l'objet vers les relations qui caractérise l'esprit cybernétique est depuis longtemps à l'œuvre dans l'histoire de la peinture. Celle ci témoigne d'une dévalorisation constante de l'objet (le sujet du tableau, le contenu) en faveur de l'action (l'intention et la manière du peintre). C'est de moins en moins le résultat qui importe que le contexte (émotionnel ou gestuel) de la création. Duchamp, Pollock

ou Mathieu ne doivent rien à la cybernétique mais la cybernétique ne les renierait pas. Et bien des artistes de l'après guerre n'ont pas invoqué la cybernétique pour pratiquer l'interactivité.

Le cas de l'artiste britannique Roy Ascott est représentatif. Dans son article « Cybernetics and arts : Cultural convergence in the 1960's », Edward Shanken a longuement analysé la position d'Ascott par rapport à la cybernétique. Peintre, pédagogue et théoricien, Roy Ascott se décrit en 1968 comme 'l'artiste responsable le premier de l'introduction de la théorie cybernétique dans l'éducation artistique (en Angleterre) et de la dissémination du concept de vision cybernétique dans l'art à travers les journaux artistiques et scientifiques'. En 1961, la lecture de Wiener, George et Ashby lui inspire une 'vision cybernétique' du monde et de l'art, qui se nourrit en fait de bien d'autres composantes culturelles et philosophiques de l'époque. Il prône un changement de paradigme culturel où les intuitions de la cybernétique viennent soutenir des tendances propres à l'évolution de l'art, pour instaurer une idéologie de l'interactivité et du constructivisme. Des idées fortement affirmées par la cybernétique mais que Roy Ascott, dans un jeu de perles de verre, allie à toutes sortes d'emprunts philosophiques et scientifiques. Il étend sa vision de l'interactivité à des dimensions planétaires en envisageant des formes de conscience collective rappelant celles de Teilhard de Chardin, en s'appuyant sur les nouvelles mentalités autorisées par le développement des médias télématiques.

De nombreux écrits, en forme de manifestes, jalonnent l'activité de ce théoricien éducateur, sans donner lieu à la production véritable d'œuvres d'art cybernétiques. De « The construction of change » (1964), « Behaviourables and futuribles » (1967) à "Is there love in the telematic embrace?" (1990) il développe sa conception de l'art behaviouriste et sa vision cybernétique.

« Quand l'art est une forme de comportement le software domine sur le hardware dans la sphère créative. Le processus est plus important que le produit....

..le rôle radicalement nouveau de l'artiste. Au lieu de créer, d'exprimer ou de transmettre un contenu, il est maintenant impliqué dans la conception de contextes.... L'observateur d'une œuvre est désormais au centre du processus créatif et non plus spectateur à sa périphérie. L'art n'est plus une fenêtre ouverte sur le monde mais une porte par laquelle l'observateur est invité à entrer dans un monde d'interactions et de transformations.... Une telle vision correspond à une approche plus générale de l'art en tant qu'il réside dans un système de communications, et non dans un objet correspondant à une configuration sémantique déjà fixée.....

.....le statut de l'objet d'art se modifie. Sa position dominante dans la culture actuelle, comme centre de toutes les attentions (le destin hors du commun d'un contenu hors du commun) est remplacée par l'interface. Au lieu de l'œuvre d'art comme fenêtre d'une réalité constituée, déterminée et ordonnée, nous avons à l'interface une porte ouverte sur l'indécidabilité, un espace de données de potentialités matérielle et sémantique. L'esthétique ne se focalise plus sur l'objet contemplé, mais sur le sujet qui participe à l'expérience, elle passe de l'analyse des systèmes observés à la cybernétique (de la deuxième génération) des systèmes observants : loi de l'immatériel et du participatif »

Un appel à la cybernétique du second ordre qui relève surtout de la métaphore, si l'on songe à ce qu'est véritablement cette cybernétique là. Evoquer la cybernétique est plutôt ici une caution qu'une véritable inspiration.

Chez les artistes, comme dans le public en général, le terme de cybernétique est utilisé avec beaucoup de confusion. La cybernétique est considérée à tort comme une théorie physique des systèmes complexes ouverts et son caractère de stratégie de modélisation abstraite est ignoré. Mais la cybernétique n'est pas l'art de construire des machines ou des robots, elle est l'art de

fournir un modèle général du fonctionnement d'un système dynamique complexe. Passer du modèle à la réalisation concrète n'est plus l'affaire des cybernéticiens mais de l'ingénieur. Le travail de l'artiste cybernéticien, s'il en est, est non pas de construire des dispositifs interactifs astucieux, mais de produire des modèles traduisant de façon particulièrement expressive les modalités de fonctionnement de tels dispositifs. Le but de l'artiste n'est pas ici à nouveau d'accéder à un réalisme mimétique, mais d'exprimer par la 'caricature'. En forçant le trait pour ainsi dire. C'est l'art du simulacre. Peu d'artistes l'on compris.

On se tromperait pourtant lourdement si l'on pensait qu'un artiste comme Nicolas Schöffer cherchait à réaliser des robots. Ce n'est pas en créant des dispositifs en mouvement, si perfectionnés soient ils, qu'il crée des œuvres d'art, mais en mettant en scène d'une manière habile une gesticulation qui traduit des principes de mouvement. Le mérite de Nicolas Schöffer n'est pas de rivaliser avec un fabricant d'horloges ou de dispositifs de régulation automatique, mais d'incarner dans un montage schématique les principes essentiels du fonctionnement des machines réelles. Ceci saute aux yeux lorsque l'on examine une sculpture dynamique comme CYSP I (1956) confrontée à des danseurs de Maurice Béjart. Le robot de Schöffer n'a pas la prétention de rivaliser avec les danseurs mais exprime de manière schématique et contrastée le caractère du mouvement des danseurs en interaction avec le public. Un simulacre de danse. Un modèle cybernétique de la danse. L'art n'est pas ici dans l'imitation de la danse mais dans sa caricature. Ce qui fait la valeur artistique des œuvres de Nicolas Schöffer, ce n'est pas la complexité des mécanismes, mais l'expressivité de ce qui se donne à voir. Une expressivité amplifiée par l'emploi de formes géométriques et de contrastes colorés. Une recherche maximale du spectacle total où le spectateur se trouve entraîné. Un spectacle sans autre fonction que rituelle et dont le simulacre est l'essence même.

Comme le dit Jean Baudrillard :

« Il ne s'agit plus d'imitation, ni de redoublement, ni même de parodie. Il s'agit d'une substitution au réel des signes du réel, c'est à dire d'une opération de dissuasion de tout processus réel par son double opératoire, machine signalétique métastable, programmatique impeccable, qui offre tous les signes du réel et en court-circuite les péripéties. »

Ce qui caractérise le simulacre c'est l'écart définitif avec le réel, la prétention de s'y substituer. C'est une construction artificielle qui ne prétend pas renvoyer à un élément du réel, ce n'est pas un miroir de la réalité. C'est une réalité artificielle qui fonctionne comme telle, sans renvoyer à une prétendue réalité. Une image qui ne représente rien et se donne comme telle.

Comme le dit D. Perniola :

« Le simulacre se définit donc comme une image sans identité. Il ne renvoie à aucun modèle extérieur et n'a pas d'originalité intrinsèque. Sa validité est sans valeur, sa tromperie évidente, et son conflit indolore. Il marque le moment où la fiction cesse d'être mensonge sans devenir vérité »

L'ambiguïté du simulacre est constitutive, est n'est pas présente dans la simulation. Ambiguïté ontologique qu'entretient l'illusion du comportement. La simulation mime la réalité en le proclamant, le simulacre se comporte comme si c'était une réalité. Distinction essentielle entre comme et comme si. Ce comme si qui règne dans les productions du discours et de la pensée, où tout se passe comme si les objets étaient véritablement réels, sans qu'il soit possible de s'en assurer tout au moins par l'observation. Le mérite de la cybernétique a été de mettre en relief le rôle du simulacre. L'emploi conscient du simulacre comme le fait Nicolas Schöffer renvoie donc naturellement à la pensée cybernétique de son temps dont il était un connaisseur averti.

Chez un autre artiste comme l'allemand Peter Vogel la stratégie cybernétique s'exprime clairement. Diplômé de physique et ayant effectué des recherches en neurophysiologie, il a construit des maquettes pour l'étude des comportements physiologiques et

psychologiques. C'est ce qui a conduit Peter Vogel a construire des objets cybernétiques, modèles imaginaires de systèmes électroniques en forme de sculptures qui réagissent à l'environnement et répondent à la lumière, à l'ombre et au son produit par les spectateurs. Ses sculptures sont des structures en trois dimension de fil de fer soudé incluant les différents composants qui vont lui donner vie, comme les transistors, les moteurs, les cellules photoélectriques, les hauts parleurs. Chaque composant apporte sa couleur et sa forme, constituant une singularité sur le dessin linéaire de la structure, comme un circuit expansé, non pas imprimé, mais inscrit dans l'espace. Chaque objet a sa propre animation programmée qui va se révéler en présence des spectateurs. On assiste à un spectacle où les sculptures se livrent à ce qu'elles savent faire, participant éventuellement à des spectacles de ballet. Mais ces sculptures ne représentent rien sinon leur propre fonctionnement, et ne sont que des simulacres de dispositifs électroniques. Elles traduisent d'une manière cybernétique l'esprit (modèle mathématique abstrait) d'un circuit électronique moderne.

Cybernétique et esthétique : une esthétique relationnelle.

En concentrant son intérêt sur les relations au dépens des objets eux mêmes, la cybernétique promeut de nouvelles catégories esthétiques, où l'information devient un concept clé. L'expression artistique est considérées comme un message entre le créateur et le spectateur. Le système esthétique n'a pas comme chez Kant ou Hegel pour but des interprétations ou des jugements de valeur, mais l'évaluation du fonctionnement du message et de l'organisation des signes. Une esthétique du processus de la création artistique. Le véritable caractère de la cybernétique se

dévoile alors comme une exaspération d'un mouvement qui travaille en profondeur les idéaux de connaissance depuis la fin du Moyen Age.

Dans son admirable ouvrage : ' Théologie et imagination scientifique du Moyen Age au XVII^o siècle' Amos Funkenstein¹⁰, décrit cette lame de fond qui sous tend la révolution scientifique :

p.338

«nous percevons à la fois dans la conception d'une méthode nouvelle selon Descartes et d'autres au XVII^o siècle, un tout nouvel idéal de la connaissance et d'acquisition de la connaissance..... Cet idéal nouveau, quelque peu difficile à saisir, dont la puissance agit jusqu'à nos jours, c'était l'idéal de connaissance par le faire ou par construction....

Savoir c'est pouvoir.

Vico a résumé la conception ergétique de la connaissance dans sa formule célèbre : *verum et factum convertuntur*, nous ne connaissons pour certaines que les choses que nous avons nous même construites.....

Ce nouvel idéal ergétique de la connaissance était directement en opposition avec le vieil idéal contemplatif. La plupart des épistémologies antiques et médiévales avaient eu en commun un caractère réceptif : que la connaissance ou la vérité fut atteinte par abstraction à partir de données sensibles, par illumination ou encore par introspection, elle était trouvée et non construite. Au contraire explicitement ou non, la plupart des 'sciences nouvelles' du XVII^osiècle postulaient une théorie constructive de la connaissance » .

On ne peut que remarquer effectivement de nos jours une confusion volontaire et permanente qui consiste à présenter les réussites de la technologie comme les preuves du bien fondé de la science occidentale. Et il faut à nouveau insister sur le caractère fortement constructiviste de la cybernétique, science de la

¹⁰ A. FUNKENSTEIN. Théologie et imagination scientifique du Moyen Age au XVII^o siècle. Presses Universitaires de France.

modélisation, ce qui implique la calculabilité de tous les éléments du modèle mathématique. L'idéal du 'savoir que' y est remplacé par l'idéal du 'savoir comment'.

Jean François Lyotard, dans 'La condition post-moderne'¹¹, a décrit ce lien entre la crise du critère de vérité et le développement technologique :

p72

« Ici interviennent les techniques....

Elles obéissent à un principe celui de l'optimisation des performances : augmentation de l'output (informations ou modifications obtenues), diminution de l'input (énergie dépensée) pour les obtenir. Ce sont donc des jeux dont la pertinence n'est ni le vrai, ni le juste, ni le beau, etc... mais l'efficient : un 'coup' technique est 'bon' quand il fait mieux et/ou quand il dépense moins qu'un autre...

Les techniques ne prennent de l'importance dans le savoir contemporain que par la médiation de l'esprit de performativité généralisée.

L'administration de la preuve, qui n'est en principe qu'une partie d'une argumentation elle même destinée à obtenir l'assentiment des destinataires du message scientifique, passe ainsi sous le contrôle d'un autre jeu de langage, où l'enjeu n'est pas la vérité, mais la performativité, c'est à dire le meilleur rapport input-output.....

Ainsi prend forme la légitimation par la puissance. Celle ci n'est pas seulement la bonne performativité, mais aussi la bonne performativité et le bon verdict. Elle légitime la science et le droit par leur efficience et celle ci par ceux là. Elle s'autolégitime comme semble le faire un système réglé sur l'optimisation de ses performances..... ».

Avoir raison dans un univers dominé par la technologie c'est pouvoir faire preuve de sa performativité. « J'ai raison dit le blanc, c'est moi qui fabrique les armes et les voitures ».

¹¹ J. F. LYOTARD. La condition post-moderne. Editions de Minuit. 1979.

Née sous les auspices technologiques de la théorie du contrôle et de la théorie de la transmission de l'information, la cybernétique favorise en son sein les éléments d'une esthétique de la performance, une esthétique relationnelle.

Performance au double sens français d'efficacité et anglais d'accomplissement dans l'acte.

Dans 'Art et ordinateur' Abraham Moles caractérise l'art à l'ordinateur comme un art cybernétique de création artificielle dominé par la simulation :

p54

« Ces machines à manipuler la complexité traitent l'information selon certains modèles de simulation qui sont une sorte de 'gedanken Experiment' matérialisé. La programmation des ordinateurs offre bien des similitudes avec le schéma du raisonnement cybernétique : ce dernier se base sur la découverte d'une analogie et lui impose un certain nombre de conditions restrictives avant de la considérer comme modèle pour une simulation effective.... C'est ici que la construction 'artistique' à la machine prend son intérêt. La machine prétend en effet aborder l'œuvre d'art de toutes les façons possibles, et, chaque fois, en propose des simulacres, chacun caractéristique d'une conception différente de l'œuvre. Le degré de similitude y joue le rôle de l'ancienne valeur 'Vérité'..... ».

Le simulacre est une performance à tous les sens du terme, qui prend sa valeur dans son exécution même et tire son intérêt esthétique de son efficacité dans la similitude. L'esthétique du simulacre est une esthétique de la performance, une esthétique de l'acte, une esthétique de la relation entre l'œuvre et le spectateur.

La cybernétique a contribué à déplacer le point de vue esthétique d'une esthétique ontologique à une esthétique interactive. Le glissement, selon Goodman, de la question ontologique : « Qu'est ce que l'art ? » à la question fonctionnelle : « Quand y'a t il art ? » est une démarche à caractère cybernétique

où une perspective relationnelle se substitue à un essentialisme fondé sur le présupposé de propriétés intrinsèques objectivables.

L'esthétique cybernétique se veut une esthétique non métaphysique et rationnelle, espérant tirer parti de la théorie de l'information pour mesurer quantitativement le contenu du message esthétique. C'est là l'ambition d'Abraham Moles, Max Bense et leurs disciples Siegfried Maser, Helmar Frank, Herbert Frank¹².

Considérant l'œuvre d'art dans sa relation avec l'observateur, l'esthétique cybernétique (informationnelle) se définit comme un examen des éléments dialectiques liés à la communication : la surprise (l'information) et la lisibilité (la mise en ordre). Le sentiment esthétique naît des performances opposées de ces deux fonctions rivales où s'affrontent la nouveauté (la différence qui fait l'information) et le contrôle (intégration dans les connaissances). Accumuler la nouveauté sans cesser de comprendre. Cette dialectique psychologique n'est pas sans rappeler le point de vue sociologique de Nathalie Heinich qui définit le triple jeu de l'art contemporain : transgression, réaction, intégration¹³.

L'œuvre d'art n'est plus jugée par rapport à une référence selon son degré mimétique mais dans l'accomplissement de fonctions de communication. Elle devient autonome par rapport à la réalité ou à la nature, tout en restant ouverte sur le spectateur. Elle est elle même modèle et son statut participe du débat philosophique entre le réalisme et l'antiréalisme qui domine la

¹² A. MOLES. Théorie de l'information et perception esthétique. Flammarion. 1958.

L'approche informationnelle, dans M. DUFRENNE, L'esthétique et les sciences de l'art. p722. Tendances principales de la recherche dans les sciences sociales et humaines. Mouton. UNESCO. 1978.

Art et ordinateur. Blusson. Paris. 1990.

M. BENSE. Einführung in die informations theoretische Ästhetik. Reinbeck. Hamburg. 1969.

Ausgewählte Schriften. Bd 3. Ästhetik und Texttheorie. Stuttgart. 1998.

Helmar FRANK. Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf eine mime pure. Dissertation. Stuttgart. 1959.

Herbert FRANK. Kybernetische Ästhetik. Phänomenon Kunst. München. 1979.

¹³

N. HEINICH. Le triple jeu de l'art contemporain. Editions de Minuit. 1998.

théorie de la connaissance. Un débat où de par son caractère constructiviste la cybernétique a choisi son camp.

La fin du XIX^e siècle voit naître, après la longue domination du réalisme artistique et scientifique, une prise de conscience de l'écart entre notre perception et notre représentation du monde et le monde tel qu'il est supposé être en notre absence ou tel qu'il se présente à nous naïvement. La connaissance ne semble pas une copie de la nature, mais donne naissance à des formations abstraites ou symboliques dont l'efficacité cognitive reste à comprendre. Il y a là une autonomie des systèmes cognitifs qui en fait à coup sûr des systèmes cybernétiques de par l'action conjuguée du contrôle, de la régulation et du feedback. Tout comme le système cognitif, l'œuvre s'accomplit dans la cohérence interne et dans la stabilité qui lui procure l'autonomie.

Cette autonomie des représentations est le thème essentiel sur lequel se développent des philosophies de la connaissance comme celles de Helmholtz, Hertz, Poincaré, Duhem, Mach, Vaihinger, Cassirer...qui sont autant d'antiréalismes, considérant que les objets de la connaissance sont formés par notre esprit, par notre perception ou notre raison¹⁴.

Le débat réalisme –antiréalisme n'a pas cessé, avec en particulier les contributions d'antiréalistes comme Cartwright ou van Fraassen. Aux 'ismes' traditionnels est venu s'ajouter le 'fictionnalisme' comme pour entériner l'apparition d'une doctrine générale, formulée par Vaihinger, le 'Comme si'¹⁵, selon laquelle nos conceptions et nos théories sont des fictions.

Le Symbolisme, l'Abstraction, le Formalisme... la Cybernétique se développent sur ce fond métaphysique commun à tout le XX^e siècle. Par sa démarche modélisatrice, constructiviste et abstraite la cybernétique a joué un rôle essentiel dans le développement du fictionnalisme. Elle s'accompagne d'une démarche esthétique antiréaliste qui s'oppose à la quête essentialiste en art, considérant que l'art n'est pas un objet doté

¹⁴ M. FERRARI and I.O. STAMATESCU, eds. Symbol and physical knowledge. On the conceptual structure of physics. Springer. 2002.

¹⁵

H. VAHINGER. Die Philosophie des 'als ob'. 1911. La philosophie du comme si. A paraître, Kimé. 2007.

d'une essence interne, mais n'est que ce que les hommes en font. Une démarche anti-ontologique profondément kantienne.

Il n'y a pas d'œuvre d'art, dirait Goodman, il n'y a que des objets qui fonctionnent comme des œuvres d'art. C'est le triomphe du simulacre.

Bibliographie

Encyclopédies et dictionnaires

V.M. GLUSHKOV, ed. Encyclopédie de la cybernétique (en russe) . 2 tomes. Kiev. 1974.

V.M. GLUSHKOV. Dictionnaire de la cybernétique (en russe). Kiev. 1979.

C. FRANCOIS, ed. International Encyclopedia of systems and Cybernetics. K.G. Saur's Verlag. Munchen. 1997.

F. HEYLIGHEN, C. JOSLYN and V. TURCHIN, eds. Principia Cybernetica. (1991-2001)
<http://pcp.vub.ac.be>

F. HEYLIGHEN and C. JOSLYN. Cybernetics and second-order cybernetics. Dans: R.A. MEYERS, ed. Encyclopedia of physical science and technology. Academic Press. New-York. 2001

WIKIPEDIA

Entrées: Cybernetics, feedback, control theory, system, model (abstract), mathematical model, simulation.

Histoire de la cybernétique

D. MINDELL, J. SEGAL and S.GEROVITCH. From communication engineering to communication science: Cybernetics and information theory in the united States, France and the Soviet Union. Dans: M. WALTER, ed. Science and ideology: a comparative history. Routledge. London. 2003.

J. SEGAL. Le Zéro et le Un. Histoire de la notion scientifique d'information au XX^e siècle. Editions Syllepse. Paris. 2003.

Chapitre 3. Cybernétique et théorie de la communication.

Chapitre 4. Autres contextes, autres théories.

Chapitre 10. L'introduction de la cybernétique en RDA : entre science bourgeoise et panacée.

J. SEGAL. The pigeon and the predictor. Miscarriage of a cyborg in spite of foundations supports. Dans: G. GEMELLI, ed. American foundations and large scale research : construction and transfert of knowledge. Eds CLUEB. Bologna. 2001.

American Society for Cybernetics.

Foundations. History of cybernetics.

<http://www.asc-cybernetics.org/foundations/timeline.htm>

C. FRANCOIS. Systemics and cybernetics in a historical perspective. Systems research and Behavioral Science. 16, 203-219, 1999.

V. PRATT. Machines à penser. Une histoire de l'intelligence artificielle. PUF. Paris. 1995.

J.P. DUPUY. Aux origines des sciences cognitives. La Découverte. Paris. 1992. 1999.

C. LAFONTAINE. L'empire cybernétique. Des machines à penser à la pensée machine. Seuil. Paris. 2004.

K. HAYLES. How we became posthuman. Virtual bodies in cybernetics, literature and informatics. University of Chicago Press. 1999.

S. GEROVITCH. From newspeak to cyberspeak: A history of soviet cybernetics. MIT Press. 2002.

M.G. HAAS-RAPPAPORT. Sur l'établissement de la cybernétique en URSS. (en russe).

<http://www.mmedia.nsu.ru>

P. BRETON. Une histoire de l'informatique. Seuil. Paris. 1990.

P. BRETON. L'utopie de la communication. Le mythe du « village planétaire ». La Découverte. Paris. 1997.

S.J. HEIMS. John Von Neumann and Norbert Wiener: from mathematics to the technologies of life and death. MIT Press. 1981.

S.J. HEIMS. The cybernetics group. 1946-1953. Constructing a social science for postwar America. MIT Press. 1991.

C. PIAS, Hg. Cybernetics-Kybernetik. Die Macy-Konferenzen. 1946-1953.

Band 1. Transactions-Protokolle.

Band 2. Essays und Dokumente.

Diophanes. Zürich. Berlin. 2003-2004.

D.A. MINDELL. Datum for its own annihilation: Feedback, control and computing. 1916-1945. PhD Dissertation. MIT. 1996.

A. BENNETT. A history of control engineering. 1930-1960. The institution of Electrical engineers. London. 1993.

J. BENIGER. *The control revolution. Technological and economic origins of the information society.* Cambridge University Press. 1986.

Epistémologie de la cybernétique et de la modélisation

Littérature soviétique sur l'épistémologie de la cybernétique. (en russe)

V.A. STOFF. *Sur les rôles des modèles dans la connaissance.* Léninegrad. 1962.

I.B. NOVIK. *La cybernétique, problèmes philosophiques et sociologiques.* Moscou. 1963.

M. OMELIANOVSKI et I.V. KUZNETSOV, eds. *La dialectique dans les sciences du non-vivant (sciences physico-mathématiques).* Mysl. Moscou. 1964.

V.M. GLUSHKOV. *La pensée et la cybernétique.*

I.B. NOVIK. *La modélisation et son rôle dans la science et la technique.*

I.B. NOVIK. *La modélisation des systèmes complexes (aspect philosophique).* Mysl. Moscou. 1965.

Philosophie des Sciences (recueil). Edition de la littérature politique. Moscou. 1966.

L.B. BAJENOV. *La cybernétique, son objet, ses méthodes et sa place dans le système des sciences.*

Aspects philosophiques des problèmes de la reproduction de la pensée par des dispositifs cybernétiques.

M.E. OMELIANOVSKI, ed. *Structure et formes de la matière.* Nauka. Moscou. 1967.

I.A. AKCHURIN. *La place des structures cybernétiques dans la science contemporaine.*

I.B. NOVIK. *Les systèmes dynamiques complexes.*

V.A. STOFF. *Modélisation et philosophie.* Nauka. Moscou. 1966

(traduction: *Modellierung und philosophie.* Akademie Verlag. Berlin. 1969)

A.A. PETRUSHENKO. *L'auto mouvement de la matière à la lumière de la cybernétique.* Nauka. Moscou. 1971.

B.V. BIRIUKOV et S. GELLER. *La cybernétique dans les sciences humaines.* Nauka. Moscou. 1973.

A.I. BERG, B.V. BIRIUKOV, E.S. GELLER et G. N. POVAROV, eds. *Contrôle, information, intellect.* Mysl. Moscou. 1976.

Littérature occidentale.

A. ROSENBLUETH and N. WIENER. *The role of models in science.* *Philosophy of Science.* 12, 316-321, 1945.

M. BLACK. *Models and metaphors.* Cornell University Press. Ithaca. 1962.

M.B. HESSE. *Models and analogies in science.* University of Notre Dame Press. Notre Dame. 1966.

J. KLIR and M. VALACH. *Cybernetic modelling.* Hiliffe Books. London. 1966.

R.C. VAN FRAASSEN. *The scientific image.* Oxford University Press. 1980.

P. DUHEM. *La théorie physique. Son objet. Sa structure.* Vrin. 1981 (réimpression)

P. DUHEM. *ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.* *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée.* Vrin. 1990. (réimpression)

- N. CARTWRIGHT. *How the laws of physics lie*. Oxford University Press. 1983.
- J.L. LEMOIGNE. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod. 1990.
- K. WALTON. *Mimesis as make believe. On the foundations of the representational arts*. Harvard University Press. 1990.
- S. HARTMANN. *The world as a process: Simulations in the natural and social sciences*. 2005.
<http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002412>
- A. BARBEROUSSE et P. LUDWIG. *Les modèles comme fictions*. Philosophie. Editions de Minuit. N°68. Décembre 2000. p. 16-43.
- G. BONIOLO. *Theories and models: really old hat?* Yearbook of the Artificial, vol II, 2004. Peter Lang, B Bern. P.61-86.
- A. TOON. *Models and make believe*. Proceedings of Beyond mimesis and nominalism: Representation in art and science. London. June 2006.
<http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002805>
- J. SIMPSON. *Simulations are not models*. Proceedings of Models and simulations. Paris. 2006.
<http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002767>
- M.E. KALDERON, ed. *Fictionalism in metaphysics*. Oxford University Press. 2005.
- W. TATARKIEWICZ. *Mimesis*. Dictionary of the History of Ideas.
<http://etext.lib.virginia.edu/cgi-local/DHI>
- Z. MITOSEK. *Mimesis*. Dictionnaire International des Termes Littéraires.
<http://www.ditl.info>
- R. MULLER. *Nombreux écrits sur le concept de modèle et son histoire*.
<http://www.muellerscience.com/NavStartenglish.htm> .
- R. FRIGG and S. HARTMANN. *Scientific models*. S. Sarkar et al., eds. *The philosophy of Science: An encyclopedia*. Routledge. London. 2005.
- R. FRIGG and S. HARTMANN. *Models in science*. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2006
- J. KOPERSKI. *Models*. The Internet Encyclopedia of Philosophy. 2006.
- Sciences et Avenir Hors Série. *Les fictions de la science*. N°147. Juillet-Août. 2006.
- P. GALISON. *Image and logic. A material culture of microphysics*. University of Chicago Press. 1997.

Cybernétique et sciences humaines: le structuralisme.

- P. CAWS. *Structuralism*. In *Dictionary of the history of ideas*.
- R. SCHLEIFER. *Structuralism*. In *The John Hopkins guide to literary theory and criticism*.
- J. PETITOT. *Structuralism*. In *Handbook of metaphysics and ontology*. Philosophia Verlag. 1991.

- T. TODOROV. Théorie de la littérature (Textes des formalistes russes). Le Seuil. 1965.
- C. LEVI-STRAUSS. Les structures élémentaires de la parenté. PUF. 1948.
- P. COURREGÉ. Un modèle mathématique des structures élémentaires de parenté, 1955, dans P. Richard et R. Jaulin, Anthropologie et calcul.
- P. RICHARD et R. JAULIN, eds. Anthropologie et calcul. 10/18. UGE. 1971.
- S. TORNAY. L'étude de la parenté, dans J. Copans, M. Godelier, S. Tornay et C. Backes-Clément, eds. L'anthropologie : science des sociétés primitives ? Denoël. 1971.
- Les Temps Modernes. Novembre 1966. Problèmes du structuralisme.
- I.I. REVZIN. La méthode de modélisation et la typologie des langues slaves (en russe). Nauka. Moscou. 1967.
- Langages. Mars 1968. Les modèles en linguistique. M. Gross, ed.
- J. PIAGET. Le structuralisme. QSJ. PUF. 1968.
- J. PARAIN-VIAL. Analyses structurales et idéologies structuralistes. Privat. 1969.
- A. WILDEN. System and structure. Essays in communication and exchange. Tavistock Publications. 1972.
- D. SEGAL. Aspects of structuralism in soviet philology. 1974.
<http://www.tau.ac.il/tarbut/pubtexts/segal>
- W. NÖTH. Handbook of semiotics. Indiana University Press. 1990.
- A. HELBO, ed. Le champ sémiologique. Perspectives internationales. Editions Complexe. 1979.
- A. HENAULT. Histoire de la sémiotique. QSJ. PUF. 1992.
- A. HENAULT, sous la direction de. Questions de sémiotique. PUF. 2002.
- F. DOSSE. Histoire du structuralisme. La Découverte.
I. le champ du signe, 1945-1966. 1991
II. le chant du cygne, 1967 à nos jours. 1992
- M. AUCOUTURIER. Le formalisme russe. QSJ. PUF. 1994.
- P. SERIOT. Structure et totalité. Les origines intellectuelles du structuralisme en Europe centrale et orientale. PUF. 1999.

Art et cybernétique

- M. PHILIPPOT. La cybernétique et l'art, dans Le dossier de la cybernétique. Utopie ou science de demain dans le mode d'aujourd'hui. Marabout. Paris. 1968.
- P. DEMARNE. Art et cybernétique, dans Art, Artistes. 1947-1977.

- Trente ans d'écrits et conversations sur les arts plastiques contemporains. UNPF. Paris. 1977. p. 112-136.
- N. SCHOFFER. La ville cybernétique. Tchou. Paris. 1969.
- N. SCHOFFER. Le nouvel esprit artistique. Denoel Gonthier. Paris. 1970.
- N. SCHOFFER. Site officiel.
<http://www.olats.org/schoffer>
- S. LACERTE. Pionniers et précurseurs. EAT.
<http://www.olats.org/pionniers/pp/eat/projets.shtml>
- E. SHANKEN. Cybernetics and arts. Cultural convergence in the 1960s.
 E. Shanken, ed. Is there love in the telematic embrace? Visionary theories of art, technology and consciousness by Roy Ascott. University of California Press. 2003
- N. GOODMAN. Langages de l'art. Jacqueline Chambon. Nimes. 1990.
- L. POISSANT, sous la direction de. Esthétique des arts médiatiques. Presses de l'Université de Québec. T.1 et 2. 1995.
- E. KAC. Origin and development of robotic art. Art Journal, vol 56, n°3. 1997
<http://www.ekac.org/roboticart.html>
- K. STILES and P. SELZ. Theories and documents of contemporary art. A source book of artist's writings. University of California Press. 1996.
- A. BUREAUD et N. MAGNAN. Connexions. Art, réseaux, média. Ecole Nationale Supérieure des Beaux Arts. Paris. 2002.
- M.J.M. BIJVOET. Art as inquiry.
http://www.stiching-mai.de/hwg/amb/aai/art_as_inquiry_00.htm
- E. COUCHOT et N. HILLAIRE. L'art numérique. Comment la technologie vient au monde de l'art. Champs. Flammarion. 2003.
- C. GIANNETTI. Aesthetics of the digital. 2004.
http://www.medienkunstnetz.de/themes/aesthetics_of_the_digital
- “L'oeil moteur. Art optique et cinétique”. Catalogue d'exposition du musée d'Art Moderne et contemporain de Strasbourg. 2005.
- P. ARNAUD. L'oeil multiplié: l'extension cybernétique de la conscience perceptive.
- P. ROUSSEAU. Folklore planétaire : le sujet cybernétique dans l'art optique des années 1960.