

# Théories de la « prédiction » L'intelligible connaissance esthétique

Louis José Lestocart

## Petite chronique introductive de cette recherche

*Ce texte provient d'interrogations assez anciennes sur la perception. Certaines expériences empiriques personnelles, diverses sensations « étranges » ressentis lors d'exposition d'œuvres d'art, de visions de films ou de moments singuliers de la vie, m'ont amené à m'interroger sur certains phénomènes accompagnant la perception et l'entendement, quelquefois abondamment décrits dans la littérature (Proust, Joyce, Dostoïevski). Je me suis un peu tourné, il y a quelques années vers les neurosciences, à l'occasion d'une étude oculomotrice sur peintures originales de Francis Bacon, réalisée avec le concours de Zoï Kapoula (directrice de recherches au CNRS) dans le cadre du Collège de France.*

*Cette recherche épistémologique, qui a donné lieu à une parution dans Intellectica (Kapoula, Z & Lestocart, L-J (2007) « Perception de l'espace et du mouvement dans Study of a Dog (Etude de chien) de Francis Bacon ». In Intellectica , n° 44.), ne m'a cependant pas pleinement contenté. La perception, le ressenti devant certaines œuvres de Bacon, ou films ou vidéos ou films expérimentaux ne me semblaient pas prise réellement en compte par les approches cognitivistes habituelles. Qui plus est, cette étude, n'interrogeait pas la sensation de « futur » fortement éprouvée lors de ces perceptions ainsi que la notion d'empathie. Etait aussi ancré en moi le fait que certaines œuvres d'art « représentaient » en quelque sorte ce que je pouvais subodorer : il existe en certaines œuvres d'art des parties cachées qu'une certaine perception dévoile de façon instantanée.*

*Deux faits ont précipité les choses. Une conversation avec Paul Bourguin sur les automates cellulaires et les expériences des physiciens Crutchfield et Shalizi dans l'orbe de Santa Fe, et, pendant cette entrevue, le souvenir très récent de la rencontre avec Maria Klonaris et Katerina Thomadaki, cinéastes expérimentales dont les œuvres de vidéo numériques pouvaient « affirmer » ma théorie ou mon présupposé. Les deux faits se sont donc couplés pour peu à peu m'entraîner sur des recherches sur les théories de la prédiction : la mécanique statistique et la théorie des probabilités dans les systèmes complexes (Boltzmann, Wiener, Poincaré, Kolmogorov) et les expériences de Shalizi en particulier ayant amené à la production d'un filtre/ algorithme permettant de « voir » ce qu'il peut résider derrière la notion de complexe. Dans une idée de « Second Order Complexity », ces expériences réalisent des prédictibilités maximales sur le comportement des systèmes complexes, se réfèrent en même temps aux théories du chaos et de l'auto-organisation, à l'information, à la linguistique de Chomsky et recourant au procédé du rasoir d'Ockham (un peu rapidement énoncé par les auteurs).*

*Par ces nouvelles investigations, il commençait à devenir possible de proposer l'hypothèse que les œuvres (en particulier images animées) contenaient des processus stochastiques (processus dépendant du hasard) internes ou figurés, se couplant avec des processus de même nature s'effectuant dans le cerveau de l'observateur, et que la rencontre des deux produisaient le sens, l'interprétation, ce que l'on appelle sentiment esthétique.*

*Cette hypothèse un peu « pionnière » peut en dernier ressort, proposer d'autres éléments pouvant explorer sa pertinence, dont les neurones miroirs, découverts par le physiologiste et neuroscientifique, Giacomo Rizzolatti, qui créent, par couplage avec des neurones « traditionnels » dévolus eux à l'action, un champ spatio-visuel extrêmement élaboré, sujet à évolution et visant à reproduire « mentalement », virtuellement l'action envisagée, le mouvement. Ces neurones miroirs ont la capacité d'imitation et de simulations des actions proposés, ils les calculent en quelque sorte, en dressent les probabilités, en dessinent le futur. Pour que ces recherches ne restent pas sans lendemain, il conviendrait sans doute de les mener en laboratoire.*

Un système, qu'il s'agisse de système de contrôle, mécanique, chimique, hydraulique ou autre, est un phénomène, doté d'une organisation, constitué de différents éléments (parties : formes de régularités identifiables) en interaction. Tel un réseau de relations entre ces éléments, « actif, et fonctionnant et évoluant (à la fois organisé et organisant) téléologiquement, qui tisse au sein de contextes

localement identifiable – eux-mêmes perçus fonctionnant et évoluant – des « tapis de processus »<sup>1</sup>, en une totalité manifestant en développements successifs, sous l'influence de la variation de ses éléments (variables) et de conditions constantes (paramètres), des propriétés inexistantes dans ses parties (émergence). Avant tout « point de vue » comme l'est la Monade leibnizienne<sup>2</sup>, on peut aussi dire qu'un système complexe, engendré par un « *fonctionnement conscience* », se trouve défini en tant que phénomène perçu ou conçu par « *l'activité d'un observateur concepteur* »<sup>3</sup>, en tant que mode de représentation.

Les systèmes complexes (soit ce qui est tissé ensemble, tressé) tels qu'ils sont décrits dans les sciences qu'on appelle « non linéaires » mêlent ainsi beaucoup de parties distinctes, connectées de façon multiple. La notion première est celle d'interrelation des éléments (organisation). Des composants/agents divers peuvent y interagir, à la fois sériellement et parallèlement avec d'autres agents (en incluant l'observateur), de manière à engendrer des effets et événements aussi bien simultanés que séquentiels générant une dynamique convergente ou divergente selon que les *feed-back* (boucles de re-cyclage) sont négatifs ou positifs.<sup>4</sup>

Les premiers théoriciens des systèmes dynamiques, un des fondements de la science de la complexité, ont été Poincaré (*Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, 1882)<sup>5</sup>, les savants de l'école russe, tels Lyapunov, auteur de *Problème général de la stabilité du mouvement* (1907)<sup>6</sup>, Andronov<sup>7</sup>, Vitt, Khaikin, Kolmogorov, et allemande comme Hopf, puis les mathématiciens américains comme Birkhoff dans les années 20-30 (*Dynamical systems*, 1927) et Chaitin.<sup>8</sup> Tous ceux-là participant (avec d'autres encore) à l'élaboration de concepts fondateurs, cherchant à formaliser un *aléatoire*, fruit des combinaisons les plus profondes, par le biais d'une complexité algorithmique.<sup>9</sup> Via ses mémoires sur la

<sup>1</sup> Définition « prêtée » par Jean-Louis Le Moigne (extraite de ses 2 livres *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, Paris: Les Presses universitaires de France, 1984, Ch. 8, p. 186, 188, 190 et *La Modélisation des systèmes complexes*, 2e éd. Paris: Dunod, 1993) au cours d'une correspondance privée avec lui.

<sup>2</sup> Chaque monade, comme force interne et active, exprime le monde « *chaque monade est un miroir vivant ou doué d'action interne, représentatif de l'univers suivant son point de vue, et aussi réglé que l'univers lui-même* » (*Principes de la nature et de la grâce fondés en raison*, 1714, § 3). On peut aussi ici citer la page de *La Méthode*, T. I., d'Edgar Morin, consacrée aux « points de vue » de l'observateur/descripteur/concepteur. Morin, E. (1977). *La Méthode*, T. I. *La nature de la nature*, Paris: Seuil, coll. « Points », p.179.

<sup>3</sup> Mugur-Schächter, M. (2006). *Sur le tissage des connaissances*, Paris: Editions Hermès-Science & Lavoisier, p. 58.

<sup>4</sup> Les phénomènes de régulation se font par *feed-back* négatif et ceux d'amplification par *feedback* positif.

<sup>5</sup> Dans ses rapports avec la physique, Henri Poincaré fut à la fois le dernier des physiciens mathématiciens classiques et le premier d'une lignée de physiciens mathématiciens nouveaux qui vont transformer la pensée physique, le discours physique lui-même, en substituant à des « êtres d'intelligibilité » ad hoc et transitoires, des concepts mathématiques. Il voit déjà dans toute théorie physique l'émergence de briques - groupes, calcul de variations - avec lesquelles une telle théorie est construite.

<sup>6</sup> Il s'agit en fait de sa thèse. Cf. Lyapunov, A. M. (1892). « Problème général de la stabilité du mouvement » In *Ann. Fac. Sci. Toulouse*, vol. 9, p. 203-474, 1907 (trad. franç. du mémoire Russe, *Obshchaya Zadacha Ustoichivosti dvizheniya*, Kharkov, 1892, et d'une note, *Comm. Soc. Math Kharkov*, Vol. 3, p. 265-272, 1893).

<sup>7</sup> Ces travaux d'Andronov de 1930-1940 (qui révèle le principe du *feedback* en 1928), redécouverts par Solomon Lefschetz à Princeton, ont permis la renaissance aux Etats-Unis de la théorie des systèmes dynamiques dans les années 1950. Cf. *Chaos et déterminisme*, A. Dahan, J.L. Chabert & K. Chemla (eds), Paris: Seuil, coll. « Points-Science », 1992. Dahan, A. (2001). « Andronov's school and the 'Chaos' Reconfiguration ». In *Proceedings of International Andronov Conference: Progress in Nonlinear Science*, Nighni-Novgorod. Dahan, A. (1994). « La renaissance des systèmes dynamiques aux Etats-Unis après la deuxième guerre mondiale : l'action de Solomon Lefschetz ». In *Supplemento ai Rendiconti del Circolo matematico di Palermo*, II, 34, *Studies in the History of Modern Mathematics*, I, p. 133-166. Dahan, A. (2004). « L'Ecole d'Andronov à Gorki, Profil d'une école scientifique de la Russie soviétique ». (avec la collaboration d'I.Gouzevitch). In *Les Sciences pour la Guerre*, A.Dahan & D.Pestre (eds), Presses de l'EHESS, p 275-316.

<sup>8</sup> Sève, L. & Charlionet, R. & Gascuel, P. & Gaudin, F. (2005). *Emergence, complexité et dialectique : Sur les systèmes dynamiques non linéaires*, Paris: Odile Jacob. Birkhoff, disciple de Poincaré, en 1931, et John von Neumann en 1932, établissent dans des cadres mathématiques distincts les deux grands premiers théorèmes de la théorie ergodique : égalité des moyennes temporelles et spatiales. Théorie qui permet de trouver des applications nombreuses de la mathématique et de la physique et qui prendra son essor avec les travaux de Kolmogorov dans les années 50. Cf. Israël, G., « L'histoire du principe du déterminisme et ses rencontres avec les mathématiques », in *Chaos et déterminisme*, *op.cit.*

<sup>9</sup> Avant la deuxième guerre mondiale, l'étude de l'aléatoire est surtout due en fait à Ludwig von Mises. Le livre d'Andronov, Vitt et Chaitin sur la théorie des oscillations (1937) et l'article d'Andronov et du mathématicien Lev Semionovitch Pontryaguine (1937) sur les systèmes « grossiers » (structurellement stables) feront par exemple connaître à Thom la notion essentielle de *stabilité structurelle*, à la base de la théorie des catastrophes et à Prigogine la théorie du chaos déterministe. Cf. Andronov, A. A. & Khaikin, S. E. (1937). *Teoriya Kolebaniy*, Gostechizdat., Moscow.; Andronov A., Pontryagin L., (1937). « Systèmes grossiers ». In *Dokl. Akad. Nauk USSR* 14, n° 5, p. 247-251.

théorie qualitative des équations différentielles, ses *Méthodes nouvelles de la Mécanique céleste*, sa géométrisation de l'espace des phases et son utilisation de résultats de probabilités en mécanique, Poincaré est incontestablement fondateur d'une nouvelle école de pensée : la théorie des systèmes dynamiques. Pourtant, les héritiers ou disciples sur ce que le physicien appelle le « Problème général de la Dynamique » sont rares - à part, comme on vient de le dire, en Russie, et aux Etats-Unis -, et son oeuvre est soigneusement gardée sous le boisseau, du moins en Occident jusqu'à la renaissance du domaine et la « redécouverte » de ses travaux dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

#### AVENIR ET PASSE.

Voilà comme il faut écrire les origines de l'histoire. Dans la physique, la théorie de la prédiction commence avec la Mécanique statistique appelée aussi « hypothèse ergodique » (du grec *ergon* : *énergie*).<sup>10</sup> Fait de Ludwig Boltzmann et, surtout, de Maxwell et de Gibbs, elle répond au désir de donner une base mécanique à la compréhension des phénomènes thermodynamiques (en particulier, dans les détails des mouvements de particules), et prend ses racines dans des considérations probabilistes appliquées à la mécanique et permet une interprétation probabiliste de l'entropie. Celle-ci se référant à des variables, telles que chaleur et température, qui décrivent l'état de désordre de la matière.<sup>11</sup> Par la thermodynamique statistique, Boltzmann crée un lien entre matière et énergie, en interprétant l'énergie à partir du comportement microscopique de la matière. Il relie ainsi l'entropie macroscopique au monde microscopique, alors encore inaccessible. En 1868, sur la base de fondements méthodologiques, portant sur la statistique de fréquences relatives dans le cadre de la théorie cinétique des gaz - plus exactement sur l'interprétation de la pression comme mesure de l'énergie cinétique des constituants d'un gaz ; soit le mouvement des molécules -, il déplace progressivement « l'explication de l'irréversibilité » vers des notions probabilistes.<sup>12</sup> La théorie cinétique du gaz devient ainsi théorie cinétique de la matière. Dans la thermodynamique statistique, l'augmentation de l'entropie est réinterprétée comme augmentation du désordre moléculaire.<sup>13</sup> Cette interprétation statistique de la seconde loi de la thermodynamique (concept d'entropie) et du problème de l'irréversibilité et du temps, permettant d'introduire la Théorie des probabilités dans une loi fondamentale de physique, donne l'occasion de contredire le désormais préjugé classique du déterminisme dès 1897 et d'introduire la thermodynamique du non-équilibre, plus tard (en partie) développée par Prigogine.<sup>14</sup> Pourtant dans la mécanique statistique, le calcul de

<sup>10</sup> Plus exactement la mécanique statistique n'est pas appelée hypothèse ergodique. Celle-ci intervenant dans les tentatives de fondement de celle-là.

<sup>11</sup> L'entropie (mot allemand pour « transformation » dérivé du grec *entrepêin* = *se retourner, changer d'idée*), qui s'est développée à partir du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle avec Boltzmann, James C. Maxwell et Josiah W. Gibbs, naît avec *Ueber eine veränderte Form der zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie* (1854), article fondateur sur la théorie mécanique de la chaleur du physicien berlinois Rudolf Clausius. Clausius y déclare qu'un système physique organisé (possédant une structure et des propriétés constatées à un instant  $t$ ) tend à évoluer au fil du temps vers un état de moindre organisation. Il énonce également dans cet article les deux lois fondamentales de l'Univers : 1) L'énergie de l'Univers est constante. 2) L'entropie de l'Univers tend vers un maximum. Fondamentale en physique statistique et en thermodynamique, l'entropie mesure aussi bien le degré de désordre d'un système physique (hypothèse dite du « désordre moléculaire » ou du « chaos moléculaire »), que des phénomènes de synchronisation ou de rythme, de renforcement ou de canalisation (un fleuve qui se creuse, par exemple) et qui ne sont absolument pas réductibles aux éléments en jeu. Hypothèse qui est présentée dans *Vorlesungen über der Gastheorie*, Leipzig-Bath, 1895-1898. Trad. fr. Boltzmann, L. (1902-1905). *Leçons sur la théorie des gaz*, Paris: Gauthiers-Villard.

<sup>12</sup> Abandonnant le calcul explicite des trajectoires individuelles de chacune des molécules constituant un gaz pour introduire le concept de probabilité en physique, non pas seulement en tant qu'instrument de calcul, mais comme principe explicatif, Boltzmann donne l'expression statistique de l'entropie d'un gaz :  $S$  (entropie) =  $k_B \ln(W)$  ;  $k_B$ , introduit en 1873, est la « constante de Boltzmann » (universelle, c'est-à-dire indépendante du choix du système) ou encore facteur constant que Boltzmann propose pour l'entropie d'un système en mécanique statistique :  $\ln$  représente la fonction logarithmique ( $\log$ ),  $W$  étant une mesure du désordre microscopique en termes de micro-états du système.

<sup>13</sup> Par là Boltzmann vise à proposer un modèle simple de la matière à l'échelle atomique, et en particulier des collisions entre atomes ou molécules, pour reproduire le comportement de certaines quantités macroscopiques. De cette façon, il est également possible d'expliquer en termes mécanistes l'évolution des systèmes fermés à valeur entropique croissante.

<sup>14</sup> La thermodynamique du non-équilibre a été d'abord développée par les travaux d'Einstein sur le mouvement brownien publiés dans la revue *Annalen der Physik* (1905 et 1906) et ceux du physicien théoricien Lars Onsager et De Donder, chimiste belge, sur le degré d'avancement d'une réaction chimique et a, en outre, bénéficié du développement de la théorie des processus stochastiques dans les années d'après guerre. Dans l'ouvrage fondamental d'Ilya Prigogine et Paul Glansdorff *Structure, Stabilité et Fluctuations*, (1971), c'est Glansdorff qui est, en fait, le meilleur thermodynamicien. Précision qui m'a été donnée par Simon Diner, physicien et chimiste.

probabilités exprime au micro-niveau un défaut d'information, à la fois en tant que connaissance incomplète et contrôle imparfait.<sup>15</sup>

D'où dans un système déterministe provient l'aléatoire ? La dynamique effective du système, qui s'étend de ses premières conditions de comportement à des états plus récents, devient si compliquée qu'il devient impossible à un observateur de calculer les états du système et de prédire le futur de son comportement.<sup>16</sup> L'émergence de ce désordre qui n'est qu'un ordre différent (désordre au niveau 2, ordre au niveau 3), est due à la fois au comportement *possible* d'un système dynamique défini comme non-linéaire et aux limitations de la seule observation factuelle. Ces états *désordonnés* sont rendus par des équations stochastiques (du grec *stokhastikos* = *divinatoire*, pour signifier dépendant du hasard, fruit du hasard) décrivant le mouvement, après le surgissement d'une certaine organisation au sein de grands phénomènes de turbulences et d'évolutions bifurquantes capables de faire naître, une multiplicité de points de vue.

Pour élargir le champ de l'investigation, il convient de poser des principes nouveaux où tout est précisément « réglémenté » d'une autre façon. Ainsi les structures oscillantes auto-organisées de Turing (appelées « morphogènes ») retraçant une conception de modèles à partir du couplage de réactions chimiques, de la diffusion de ses réactifs, et créant des motifs en bandes.<sup>17</sup> Telles encore la réaction-diffusion chimique B-Z (Belousov-Zhabotinsky) produisant en une sorte d'*énonciation* formelle, des figures différentes successives (tore, résonance de tore, tore fractal, attracteur étrange)<sup>18</sup> ou encore les *structures dissipatives chimiques* de Prigogine (1977), et, plus généralement, les formes apparaissant dans les morphogénèses biologiques.

Ces structures stationnaires hors d'équilibre, où la dissipation d'énergie crée une organisation locale, ayant une influence sur « toute morphologie future », sont bien un nouveau type des états dynamiques de la matière. Ces structures engendrées sont assez souvent ordinairement *implicites*, comme enfouies dans l'esprit des analystes et des observateurs. Quelquefois ces phénomènes sont visibles et tangibles, d'autres fois, ils ne sont que le produit d'assertions que nous sommes généralement incapables d'apprécier.<sup>19</sup>

---

<sup>15</sup> L'entropie du processus mesure l'incertitude sur le futur quand on connaît tout le passé. L'état d'un système à un temps  $t$  détermine son état à tout instant  $t'$  ultérieur. C'est-à-dire qu'à une « condition initiale » donnée à l'instant « présent » correspond à chaque instant ultérieur *un et un seul* état « futur » possible. La *difficulté* est là. Si on veut prédire l'avenir, il faut observer le présent et connaître des lois qui déterminent l'avenir en fonction de son passé. L'état présent du système impliquant à la fois ses états futurs et ses états passés, son « avenir » ne dépend que de phénomènes du passé ou du présent perçus jusqu'ici et reconnus comme ayant une existence. La théorie des systèmes dynamiques peut donc être assez bien appliquée à la fois à la prédiction et à la connaissance du passé. On parle alors dans ce cas de rétro-diction. Il y a deux sortes de systèmes : ceux à entropie nulle et ceux à entropie positive. Pour ceux à entropie positive, il est établi qu'une partie au moins du futur n'est pas prédictible. A de telles situations, on associe le nom de chaos. Pour les processus d'entropie nulle, l'observation du passé permet d'y prédire l'avenir avec certitude. Dans quelque cas, le futur lointain n'est aucunement prédictible. On désigne alors ces systèmes sous le nom de systèmes de Kolmogorov ou K-systèmes. Pour les systèmes très fortement chaotiques, dits *B-systèmes* (B pour Bernoulli). Les systèmes K et B possèdent une *entropie de Kolmogorov-Sinai* positive.

<sup>16</sup> La complexité de la dynamique fait que les équations différentielles sont non intégrables, leur solution ne s'exprimant pas par un algorithme explicite. C'est cette impossibilité d'écrire la solution des équations différentielles sous une forme mathématique explicite qui est source de non prédictibilité. En effet, sans algorithme, comment prédire ? Pire encore. C'est l'absence d'algorithme qui empêche la solution de varier de manière continue avec les conditions initiales, d'où la fameuse « sensibilité aux conditions initiales ». D'où en plus de la non prédictibilité la non prévisibilité, c.a.d. la non inférence à partir de données antérieures.

<sup>17</sup> En 1952, Turing postule ainsi des réactions chimiques auto-catalytiques (interconversion de l'énergie chimique en énergie mécanique) génératrices de formes par un *événement* imprévu que l'on appellera avec Thom « brisure de symétrie ».

<sup>18</sup> Ces structures engendrées sont décrites en simulation numérique dès les premiers temps de l'ordinateur aux USA, par Enrico Fermi, John Pasta et Ulam (expérience de Fermi-Pasta-Ulam, FPU, 1953-55).

<sup>19</sup> Quand on étudie la théorie du chaos, les processus physiques se présentent de deux manières au sein de systèmes dynamiques non-linéaires : l'une périodique et l'autre aléatoire. La première offre temporairement des côtés répétitifs, la deuxième se définit par une description statistique. L'existence du chaos démontre l'existence d'un riche spectre à caractère imprédictible entre ces deux extrêmes. Les descriptions relevant des dimensions théoriques de la théorie de l'information (Shannon) de ce spectre par l'utilisation de l'entropie dynamique Boltzmann-Gibbs-Shannon (*BGS entropie*) permettent de mesurer la diversité des patterns temporels. Les comportements périodiques recèlent peu de contenu d'information, les

Début 1941, la recherche systématique de prédiction « optimale » apparaît principalement avec le mathématicien et physicien Norbert Wiener, fondateur de la cybernétique en 1943 et également connu par ses recherches sur le mouvement brownien.<sup>20</sup> La possibilité de prédire par le calcul une situation future à partir d'un état présent<sup>21</sup>, naît au M.I.T., lors de la mise au point de l'Anti-Aircraft Predictor (calculateur différentiel capable de prédire le comportement non béhavioriste du pilote d'un avion ennemi à abattre) avec Julian Bigelow ; détection qui ressort, des problèmes de commande.<sup>22</sup> Le AA Predictor qui présente les débuts de la Réalité Virtuelle (spots de couleurs figurant avion et ligne de mire du canon), décrit la notion de *servomechanism* (servo-mécanisme) ou système de commande (premiers exemples de systèmes auto-organiseurs) capables de prédire les trajectoires d'un avion à partir de ses trajectoires passées.<sup>23</sup> Cette recherche amenant la notion de rétroaction, montre en outre un comportement *intelligent* des servo-mécanismes. Ces derniers se chargeant d'une certaine expérience, à la fois dans le rappel des événements passés et dans la prédiction du futur. Wiener introduit alors le

---

comportement aléatoires beaucoup d'informations. Mais les théories de l'entropie ne s'accompagnent pas bien souvent de l'effort computationnel nécessaire pour modéliser un comportement complexe.

<sup>20</sup> Historiquement, le mouvement brownien est associé à l'analyse de mouvements qui évoluent au cours du temps de manière si désordonnée qu'il semble difficile de prévoir leur évolution, même dans un intervalle de temps très court. Ce mouvement joue un rôle central dans la théorie des processus aléatoires, notamment parce que dans de nombreux problèmes théoriques ou appliqués, le mouvement brownien ou les diffusions que l'on en déduit fournissent des modèles limites simples sur lesquels de nombreux calculs peuvent être menés. Wiener a construit rigoureusement la fonction aléatoire du mouvement brownien par un processus stochastique (comme le fait Einstein en 1905 et 1906, qui dans *Annalen der Physik* par ses trois articles fondateurs sur la théorie du mouvement brownien, construit un modèle probabiliste pour décrire le mouvement d'une particule) et établi en particulier que ses trajectoires sont continues et nulle part différentiables. À aucun moment (la particule n'ayant pas de direction déterminée) la vitesse ne peut être définie ; les changements de direction étant trop rapides. Pour modéliser ce phénomène aléatoire sur un temps continu, il introduit une mesure dite « *mesure de Wiener* » qui permet de « pondérer » les trajectoires du mouvement brownien. Ses résultats sont publiés en 1923 dans un article intitulé *Differential-Space*.

<sup>21</sup> Cette idée de prédiction fait l'objet d'un projet gouvernemental placé sous la direction de Julian Bigelow, ingénieur d'IBM formé au MIT, qui travaillera avec Wiener sur le AA Predictor. Pour illustrer sa propre théorie, Wiener donnera l'image du « flocon de neige déclenchant une avalanche ». Wiener, N (1949). *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series: With Engineering Applications*, Cambridge: The MIT Press. Texte publié une première fois pendant la guerre en tant que rapport confidentiel adressé à la Section D2 du National Defense Research Council. Wiener y développe la théorie des systèmes linéaires optimums contenant les problèmes de la prédiction linéaire et du filtrage. Voir aussi Wiener, N (1958). *Nonlinear Problems in Random Theory*, Cambridge: The MIT Press.

<sup>22</sup> De 1940 à 1943 ont lieu les efforts de guerre des U.S.A sous l'égide du National Defense Research Committee (NDRC), créée par Roosevelt le 27 juin 1940. Dès 1937, on a développé le radar SCR-584 avec émission à haute fréquence d'impulsions pour pouvoir bombarder dans l'obscurité ou le brouillard. Ce radar est couplé au canon des Bell Laboratories, le élaboré par Shannon, H.W. Bode et R.B. Blackman, pour construire le système de D.C.A. Parallèlement au M9, travaillant sur la conduite de tir (*fire control*) en D.C.A., Wiener met au point, un système différentiel, désigné sous le nom du AA Predictor (Anti-Aircraft Predictor), calculateur nécessaire au contrôle d'un canon anti-aérien, inspiré par les techniques de télévision et de balayage. Le projet, qui ne sera finalement pas retenu par le NDRC, sera à l'origine de la re-découverte de la rétroaction (*feed-back*), en particulier positive. Wiener et Bigelow sont en effet frappés par les « maladies » ou dysfonctionnements qui peuvent frapper les servomecanismes. Ils montrent des « défauts de fonctionnement » qui, si on cherche à les réduire, font entrer la machine dans des oscillations de plus en plus grandes au point que celles-ci deviennent incontrôlables. Wiener demande à Rosenblueth, alors chercheur à la Harvard Medical School, si de tels comportements existent chez l'humain. Rosenblueth lui parle de l'ataraxie, cas où certaines lésions du cervelet peuvent rendre une action humaine simple inopérante. Wiener en déduit que « *pour accomplir une action finalisée (c'est-à-dire orientée vers un but), la circulation nécessaire à ce contrôle doit former une boucle fermée permettant d'évaluer les effets de ses actions et de s'adapter à une conduite future grâce aux performances passées.* » Cf. Rosnay, J. de. (1975). *Le microscope*, Paris: Seuil, coll. « Points », p. 89. Le AA Predictor est en fait soumis à deux types d'irrégularités : les crans de la manivelle du pointeur et les manœuvres en zigzag que pouvait faire le pilote pour échapper au feu de l'appareil. Wiener introduit ainsi la notion de boucles de rétroaction (*feed-back* plus exactement, dans ce cas précis, *negative feedback loop*) consistant à déclencher automatiquement un système de régulation par action de mécanismes dans le sens opposé à celui qui cause un écart avec le but désiré.

<sup>23</sup> L'ennemi prend ainsi directement les traits d' « un dispositif servo-mécanique de tir ». Le problème est celui de la latitude du pilote ennemi à esquiver les tirs. Ces tirs ne sont encore d'ailleurs que des lancers de projectiles, guidés par leur simple impulsion initiale. Il ne fallait que calculer par avance la trajectoire vraisemblable de la cible et ajuster le tir en conséquence. Mais ces calculs reposaient bien sur la position estimée, prédite, de l'avion au moment où le projectile était censé atteindre son but et non au moment du tir. Cf. Lafontaine, C. (2004). *L'empire cybernétique*, Paris: Seuil, p. 34. Comme le note Jérôme Segal, par ailleurs auteur d'une thèse sur la Théorie de l'information, il s'agit ici en même temps d'estimation et d'extrapolation. « *Comment estimer les trois coordonnées de l'avion ? Connaissant la trajectoire de l'avion jusqu'à un temps t, que peut-on dire de la position de l'avion à t+ t, t étant la durée de vol de l'obus ?* ». Segal, J. (2004). « Du comportement des avions ennemis aux modélisations de la connaissance : la notion scientifique et technique d'information. » In *Intellectica*, n° 39, p. 55-77.

terme « *time series* » (séries temporelles) pour désigner des fonctions du domaine temporel dont les valeurs correspondent à des mesures. Il cherche ainsi à définir la causalité dans le cadre d'une représentation construite d'une séquence d'événements.<sup>24</sup>

En 1975, une théorie de la prédiction associée à un processus stochastique particulier (chaînes de Markov) voit également le jour avec le mathématicien Frank B. Knight.<sup>25</sup> Il s'agit des automates stochastiques, ou chaînes de Markov du mathématicien russe Andreï Markov. Soit des calculs d'états servant dans la formation d'automates ou de modèles de prévision (calcul de probabilités). Ces chaînes sont des séquences de variables dont l'état futur dépend du présent (lui-même incertain), mais reste indépendant du passé.<sup>26</sup> L'ouvrage de Knight *Essays on the Prediction Process* (1981) met en lumière des calculs de probabilité susceptibles de faire des prédictions sur des événements du futur. Pour Knight tout processus est une fonction « bruitée » (intrinsèquement stochastique) d'un processus markovien homogène.<sup>27</sup>

## RECONSTRUCTIONS STOCHASTIQUES. ÉTATS CAUSAUX

La complexité aléatoire définie depuis 1965 par l'algorithme Kolmogorov-Chaitin-Solomonoff (KCS) est un choix naturel de décrire ou d'analyser cette dernière en termes computationnels via une machine de Bernoulli-Turing<sup>28</sup> où les « objets dignes d'intérêt » deviennent des algorithmes aptes à résoudre des problèmes discrets bien définis.<sup>29</sup> La vision KCS permet de créer l'exacte reproduction

<sup>24</sup> Montrant en cela des idées très proches de Kolmogorov, auteur en 1933 des *Fondements de la Théorie des Probabilités* et en 1941 de *Interpolation und extrapolation von stationären zufälligen folgen*. Kolmogorov, A. N. (1941). « Interpolation und extrapolation von stationären zufälligen folgen ». In *Bull. Acad. Sci. U.S.S.R., Math.* 3 (1941), p. 3-14. En russe avec sommaire en allemand.

<sup>25</sup> Knight, F. B. (1975), « A Predictive View of Continuous Time Processes ». In *The annals of Probability*, 3(4), p. 573-596 ; Knight, F. B. (1992). « Foundations of the Prediction Process ». In *Oxford Studies in Probability*, vol. 1, Oxford: Clarendon Press.

<sup>26</sup> On parle de *processus de Markov* ou chaînes de Markov, en tant que suite de variables aléatoires  $X_1, X_2, X_3, \dots$ , lorsqu'à chaque instant, l'état ultérieur du processus ne dépend que de son état présent : c'est en quelque sorte un processus *sans mémoire*.

<sup>27</sup> Rappelons que la notion de *bruit* dû à l'énergie thermique dans les conducteurs lors des transmissions apparaît dès 1925. Par la suite, ce bruit aléatoire intervenant dans la transmission est particulièrement étudié et fait l'objet de recherches en physique, en mathématiques et en statistiques, de même qu'en télécommunications. Dans la cryptographie (communication codée) américaine des années 40, tandis qu'on utilise des techniques de communication, l'on s'aperçoit bientôt qu'un système crypté est presque identique à un système de communication *bruité*. Tandis qu'on cherche un moyen de communiquer en toute sécurité, en 1942 est mis au point le spectrographe acoustique (moyen de rendre un son visible). Le concept mathématique de l'information de 1948 de C. E. Shannon fournit une mesure quantitative de la notion d'information apportée dans un contexte particulier, celui de la transmission d'un message (ou lors d'une observation). On peut aussi formuler ce même concept d'information dans un autre contexte, celui d'organisation. L'émergence d'information dans un système complexe, par exemple, est équivalente à une émergence d'énergie. L'entropie de la mécanique statistique (fonction  $S$  de Boltzman) correspond à cette mesure *quantitative*. Dans la théorie statistique de l'information, l'entropie shannonienne est fixée par la fonction  $H$ . Avec Shannon, l'information devient une grandeur mathématique comprise comme objectivement quantifiable et entendue comme ensemble de signes. le langage demeurant essentiel à la communication.  $E$  devient le signal reçu ;  $S$ , le signal émis ;  $N$ , le bruit avec deux types de bruit (effet de distorsion et le bruit que l'on ne peut représenter que par une variable aléatoire). Le bruit devient ainsi seconde variable dans la fonction de transmission. Le hasard intervient dans la constitution des messages et dans la nature du bruit perturbant la voix. Le bruit s'intègre alors dans un monde de communication plus complet avec un rôle symétrique à celui de l'émetteur. Cf. Shannon C. & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana, The University of Illinois Press. Sur cette question de l'information lire également Ségal, J. (1998). *Théorie de l'information : sciences, techniques et société de la seconde guerre mondiale à l'aube du XXIe siècle*, thèse de Doctorat (Histoire des Sciences et des Techniques. Publiée dans une version entièrement remaniée et augmentée sous le titre *Le Zéro et le Un - Histoire de la notion scientifique d'information*, Paris: Syllepse, 2003.

<sup>28</sup> C'est-à-dire une machine de Turing à laquelle on a ajouté un registre aléatoire, produisant un chiffre binaire au hasard. La machine de Turing déterministe est augmentée d'un contact avec une source d'information (bain chaud sous forme d'un récipient d'eau bouillant). Crutchfield, J. P. (1994). « The Calculi of Emergence: Computation, Dynamics, and Induction », *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 75, Issue 1-3 (August 1994), p. 11-54. Voir aussi Bourguin, P. (2007). « Les systèmes complexes obéissent-ils à des lois ? », Colloque Mousson (CNRS) *Des Hommes et des saisons en Afrique sub-saharienne*, 21-22 juin 2007.

<sup>29</sup> Plus l'algorithme descriptif est court plus l'objet présente d'ordre. Kolmogorov définit la complexité algorithmique d'une description comme la longueur du plus petit programme sur une machine de Turing capable de reconstruire exactement une

d'une séquence stochastique en choisissant la théorie la plus simple (de moindre complexité algorithmique), telle que l'observation soit *typique* (c'est-à-dire de complexité maximale) pour cette théorie.<sup>30</sup> Suivant ces préceptes, depuis le début des années 90, la théorie sur les systèmes dynamiques non-linéaires évolue vers la notion de complexité structurale définie par des états causaux (*causal states*). Un état causal étant la classe d'équivalence du passé qui donne en distribution le même futur en probabilité. Cette nouvelle approche liant théorie des systèmes dynamiques, processus stochastiques, informatique et théorie de l'information de Shannon (mais aussi de Chaitin et Kolmogorov<sup>31</sup>), résulte d'un programme de recherche de James Crutchfield, physicien à Berkeley (Californie).<sup>32</sup> Extension de la mécanique statistique, elle permet, en termes de probabilité et de degrés d'aléatoire, de produire plus de modèles des phénomènes émergents construisant des modèles optimaux de processus stochastiques et leur structure *causale* sous-jacente.

Précisons que cette idée de structure « enfouie » provient des études linguistiques de Noam Chomsky sur les « structures profondes », sur lesquelles a déjà travaillé l'informaticien et économiste Herbert Simon, vers la fin des années 60 ; en particulier sur la musique.<sup>33</sup> Chomsky distingue ainsi une *structure superficielle* linéaire (*shallow-structure*), c'est-à-dire la manière dont le message est prononcé - la Forme ou représentation phonétique -, et une *structure profonde ramifiée* de la langue ou *représentation sous-jacente*, c'est-à-dire un format de représentation des sons - la forme phonologique.<sup>34</sup> Elle-même définissant une grammaire propre, indépendante du contexte, qui suit les lois de la syntaxe.<sup>35</sup>

Tout se passe comme s'il s'agissait de savoir ce qui provoque ou sous-tend la naissance des structures dissipatives observées par Turing et définies par Prigogine. Dès 1989, Crutchfield introduit une mesure de la complexité quantifiant la computation intrinsèque d'un processus physique.<sup>36</sup> Pour ce, il conçoit un objet mathématique, une machine computationnelle équivalant à cette complexité, appelée *epsilon-machine* ( $\epsilon$ -*machine*). L'idée de cette « mécanique informatique » étant de mesurer le nombre d'états nécessaires pour reproduire fidèlement (de manière statistique) le comportement du système étudié ainsi que sa complexité structurale. L' $\epsilon$ -*machine*, automate discret à états finis (sorte de machine de Bernoulli-Turing), dont les propriétés conduisent à des estimations quantitatives d'entropie

description. Ce plus petit programme permet à la machine de Turing d'exploiter les « symétries » de la description pour la reconstruire exactement.

<sup>30</sup> « *Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* » (*Il ne faut pas multiplier les explications et les causes sans qu'on en ait une stricte nécessité.*) Phrase souvent attribuée à Guillaume d'Ockham, théologien et moine franciscain anglais, pourtant très postérieure à sa vie (1285-1347) et datant en fait des années 1630, qui énonce le Principe de parcimonie dit du « rasoir d'Occam ». Ce rasoir d'Occam, insistant sur l'économie du nombre d'entités métaphysiques quelconques à postuler, est surtout, dans notre propos, revendiqué par les physiciens James Crutchfield et Cosma Shalizi dans de nombreux écrits. Cette vision simplifiée des concepts d'Ockham, qui, lui, prône une connaissance primitive basée sur une certaine et sensibilité des choses observables (étant en cela un des pères d'un certain empirisme), les conduiront cependant à l'élaboration de l'algorithme CSSR, afin de rendre « lisible » le complexe.

<sup>31</sup> Chaitin, G. J. (1987). « Information, Randomness and Incompleteness ». In *Papers on Algorithmic Information Theory*, World Scientific, Singapore. Kolmogorov, A. N. (1965). « Three approaches for defining the concept of information quantity ». In *Information Transmission*, V. 1, p. 3-11.

<sup>32</sup> James Crutchfield qui s'intéresse aussi à l'art et à la musique, et les artistes vidéo Steina and Woody Vasulka ont fondé en 1999, à Santa Fe, Techne & Eros: Art and Science Laboratory, un laboratoire de recherche expérimentale sur le futur de l'électronique et de l'art numérique.

<sup>33</sup> Dans le cadre de l'Intelligence Artificielle, Simon définit un programme d'analyse musicale LISTENER (Auditeur), directement fondé sur la théorie de la résolution de problèmes et de l'induction des formes organisées. Il déclare qu'il existe une structure multidimensionnelle dans la musique. Le courant Sonore constitue la structure superficielle du morceau de musique. Mais il faut aussi déceler des « structures profondes », des *patterns* implicites sous-jacents, donnant tout son sens au morceau. Simon, H. A (1968). « Perception du pattern musical par AUDITEUR ». In *Sciences de l'Art*, 5, p. 28-34.

<sup>34</sup> Avant Chomsky cependant, les grammairiens de Port-Royal, Antoine Arnauld et Claude Lancelot, postulaient déjà en effet dans la *Grammaire générale et raisonnée* (1660) que les phrases contenaient une structure logique assez éloignée de leur forme réelle apparente. Ronat M. (1971). « Notes bibliographiques. Autour du concept de "structure profonde" (dernières tendances issues des théories de N. Chomsky) ». In *msh.mss*, n° 35, spécial *Quelques aspects de la formalisation en linguistique - 2, Automne 1971*.

<sup>35</sup> Lois exprimées dans la théorie standard de Chomsky dès *Three models for the Description of Language* (1956). Chomsky, N. (1956). « Three Models for the Description of Language ». In L.R.E. *Transactions on Information Theory*, Vol. II.2, p. 113-124. Et définitivement établies dans *Aspects of Theory of Syntax* (*Aspects de la théorie syntaxique*) de 1965. Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*, Cambridge: The MIT Press. Pour Chomsky, la grammaire comporte une base et une composante transformationnelle. Cette base définit à la fois les structures profondes et la composante transformationnelle.

<sup>36</sup> Crutchfield, J. P. & Young, K. (1989). « Inferring statistical complexity. » In *Physical Review Letters*, 63, p. 105-108.

et de complexité, s'avère en effet capable d'atteindre le maximum de pouvoir de prédiction concernant la totalité du système (y compris ses variables cachées) ; et non, simplement, un de ses composants.

Considérer le « stock » de mémoire intrinsèque au système permet d'obtenir de meilleures indications sur la façon dont ce dernier peut l'utiliser. Comme si on était en présence d'un système qui *se souvient* de ses valeurs précédentes. Avec l'*ε-machine* il devient en effet possible de voir s'il existe des états intérieurs au système décrivant son comportement de façon concise.<sup>37</sup> L'observation d'une longue suite de processus stochastiques dans son output (sortie)<sup>38</sup>, suggère de fait qu'il existe une structure *interne* déterminant en partie son comportement général. La détection de cette structure s'opère par un repérage des états causaux ( $S$ ), de telle sorte que  $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ . Ce terme « états causaux » désigne l'information minimale (c'est-à-dire la mémoire que le système utilise pour produire de nouvelles valeurs) en partant de phénomènes strictement de bas-niveau (*lower level*), seulement nécessaire pour « prédire le futur » (observation de haut-niveau, *upper level*) de façon optimale. L'*ε-machine* qui peut construire des automates de Markov à états finis est donc la représentation idéale du nombre d'états « cachés » et de leur structure de transition. Ces transitions se faisant récursivement et les états étant toujours markoviens<sup>39</sup>, créent des facteurs de prédiction via les états causaux. Les niveaux supérieurs tout comme les niveaux inférieurs du système ayant pareillement leur structure de prédiction. En définitive, tout en définissant le processus des états causaux, l'*ε-machine* génère la procédure nécessaire pour trouver ceux-ci. Elle répond en quelque sorte à l'organisation d'un processus qui repère, au sein d'un système, toutes formes pouvant avoir un pouvoir de prédiction, et calcule de ce fait la quantité de l'information requise pour la prévision optimale du comportement du système.<sup>40</sup> Ces états causaux, de prescience maximale, relèvent de la complexité statistique qui réside dans la difficulté de prédire le futur en « manipulant » le passé du système.<sup>41</sup> On définit alors cette complexité comme la somme des informations présentes dans les « états causaux » (groupes) du système ; soit l'équivalence des classes relevant du passé dans un système qui produit la même distribution de ses états futurs. La complexité statistique est ainsi devenue proprement « mesure » de l'auto-organisation. On dira qu'un système s'auto-organise lorsque sa complexité statistique augmente sans cesse.<sup>42</sup>

La dernière étape de ce qui pourrait bien établir un « second ordre de la Complexité » comme il y a eu une cybernétique du second ordre (*second-order cybernetics*) avec le physicien Heinz von Foerster (1960), naît avec la création au Santa Fe Institute d'un nouvel algorithme, le CSSR (*Causal-State Splitting Reconstruction*) par Cosma Shalizi. Prolongeant l'apport de Crutchfield, le CSSR qui vise à établir, via la complexité statistique, le lien entre entropie et causalité, exploite les propriétés entropiques d'un système pour à la fois y construire et en extraire la dynamique discrète de modèles de Markov cachés (Hidden Markov Models, HMMs).<sup>43</sup> Ces modèles HMM, étant récursifs dans des séries temporelles ou

<sup>37</sup> L'*epsilon machine* étant également une sorte de modèle de Markov, une D-Markov machine ?

<sup>38</sup> Par exemple dans des automates cellulaires qui sont des modèles numériques et systèmes dynamiques où l'espace et le temps sont rendus en quantités discrètes (discontinues, génération après génération ; le temps au lieu d'être comme en physique, une variable réelle, se déroule en étapes énumérables, décomposées en intervalles égaux numérotés de 1 à n), avec un espace de n cellules, en tant que matrice infinie. Une cellule dans ce dispositif est une sorte d'élément de mémoire. Automates cellulaires qu'on couple parfois avec des algorithmes génétiques (AG). Conçus milieu des années 60, les algorithmes génétiques, systèmes artificiels et systèmes adaptatifs dits « complexes » (mais obéissant en réalité à des règles de base extrêmement simples), ont des propriétés similaires aux systèmes naturels, capables notamment de s'adapter aux perturbations d'un environnement en suivant les lois de l'évolution. Ces AG sont ici de type L-system (« grammaires récursives » ou grammaires de Lindenmayer du nom de celui qui les a inventés en 1968 et qui permettent à la fois de rendre compte de la morphogénèse simultanée et différenciée de toutes les parties de l'organisme en genèse, et de l'accroissement de la complexité et du nombre de dimensions de l'organisme. A propos des machines de Turing, on s'est ainsi aperçu dans un automate cellulaire particulier appelé Jeu de la Vie (Game of Life, GOL, John Conway, 1970) qu'il est possible de combiner certaines de ses composantes (ensemble de cellules) comme les canons à gliders et des eaters pour réaliser un état du système comportant des portes logiques booléennes (ET, OU, NON). Conway démontre en 1982 que n'importe quel calcul peut être simulé à l'aide de GOL qui a la capacité théorique de simuler un ordinateur, une Machine de Turing. Berlekamp, E. & Conway, J. H. & Guy, R. (1982). *Winning ways for your mathematical plays*, New York: Academic Press. Les gliders font en effet office de signaux binaires pouvant être utilisés comme des impulsions électriques. La présence d'un glider s'interprète comme un signal 1, son absence comme un 0.

<sup>39</sup> La probabilité que chaque transition soit équivalente définit la chaîne de Markov.

<sup>40</sup> Pour la théorie de l'information de Shannon l'entropie devient quantité de l'information. Ce lien entre complexité aléatoire et théorie de l'information est assuré par le fait que la longueur probable de la plus courte description binaire sur ordinateur d'une variable aléatoire est approximativement égale à son entropie.

<sup>41</sup> Soit les statistiques suffisantes et minimales de ce passé.

<sup>42</sup> Shalizi, C. R. (2001), *op. cit.*

<sup>43</sup> Dans des situations particulièrement complexes, l'on ne connaît en effet qu'une partie des phénomènes en jeu et donc des paramètres. C'est alors que l'on parle de modèles de Markov cachés ou d'automates de Markov à états cachés. Soit des chaînes de Markov dont l'état n'est pas observé directement, mais qui doit être estimé à partir d'observations *bruitées*. Contrairement aux statistiques classiques où chaque observation est indépendante des autres, les observations sont reliées ici par une structure cachée qui conditionne la valeur de l'observation suivante. Généralement le modèle du phénomène caché HMM est connu de façon d'autant moins certaine que la situation analysée est complexe. Il est difficile à étudier car les calculs explicites y sont impossibles. On essaie alors d'améliorer la connaissance et la description du modèle à travers les

chronologiques (*time series*) à valeur discrète ( $t, t+1, t+2, \dots$ ), sont proprement les états causaux fondamentaux pour les processus d'un système. Le CSSR voulant rendre les évolutions d'un système « incrémentales » (par amélioration et affinement de ses données), de façon à ce que de nouvelles observations puissent être prises en compte au fur et à mesure qu'elles arrivent à notre connaissance, produit de fait la construction de facteurs prédictifs non linéaires au sein de ces séquences discrètes. Cette re-construction donne une prédiction/observation parfaite, idéale à  $t+1$  pour tout le futur à partir des données produites par les processus stochastiques. Tout se passe aussi comme si le niveau jusque-là physique en venait à un autre type de structure catégorielle appartenant au niveau linguistique (linguistique chomskienne).

La théorie en toile de fond du CSSR conférant des propriétés prédictives importantes d'optimalité que les mesures classiques comme celles de l'entropie et les définitions algorithmiques de la complexité ne peuvent donner, est donc qu'il permet de filtrer automatiquement les configurations changeantes des systèmes dynamiques spatiaux pour y détecter des corrélations provenant d'un mécanisme inconnu et en extraire des propriétés qualitatives, en forme de structures logiques (particules<sup>44</sup> et autres structures plus compliquées). En travaillant les procédures d'auto-organisation dans des automates cellulaires cycliques soumis à des conditions initiales aléatoires, et y appliquant le CSSR, on s'aperçoit que les motifs détectés difficiles à suivre dans le champ brut, deviennent clairement *visibles* dans le champ de complexité après l'application du filtre. C'est-à-dire produit plusieurs genres différents de structures spatiales de sorte que celles-ci soient à la fois rendues détectables et porteuses d'information. Nouvel outil de la théorie de l'information, le CSSR calcule la teneur dynamique en information de processus aléatoires se déployant dans l'espace ; parvenant ainsi à quantifier les longueurs variables des chaînes de Markov. Il s'agit donc d'éliminer complètement le bruit dans l'information en augmentant la longueur de la série chronologique. Le système calcule ainsi son « futur » intrinsèque seconde par seconde.<sup>45</sup> On dit que ce système s'auto-organise quand sa complexité statistique s'élance dans le futur, vers le *bord du chaos*.

Cette notion d'états de la machine basée sur un système *passé* est donc utilisée pour prédire son futur. Qui plus est, ainsi qu'on l'a dit, une information minimale à partir de phénomènes strictement de bas-niveau est seulement nécessaire pour « prédire le futur » (observation de haut-niveau). Cette prédiction/observation s'effectue via la *downward causation*.<sup>46</sup> Cette causalité descendante (ou causalité réciproque du global vers le local<sup>47</sup>), en biologie, est celle qui va de l'organisme aux gènes où par exemple les cellules pourraient créer des caractéristiques psychologiques émergentes (comme la peur) qui, en retour, induisent des modifications biologiques (augmentation de la pression sanguine). Elle est une sorte de rétroaction courante dans les systèmes complexes. Soit une propriété globale qui ne renvoie à rien de local et qu'on ne peut pas vraiment appeler émergence, mais plutôt contrainte de champs, puits de potentiels ou onde de choc. En opposition avec la traditionnelle causalité newtonienne (*upwards causation*, vers le haut : allant du bas-niveau vers le haut-niveau), tout se passe comme si les niveaux les plus hauts (*macro-levels* : dynamique globale) exerçaient leurs influences (effets de causalité) en descendant vers les niveaux plus bas (*micro-levels* : dynamiques locales) pour contraindre

observations en comparant, par des méthodes bayésiennes (combinaison des probabilités pour une estimation des états), l'observation recueillie avec la prédiction qui en est faite par le modèle. Ces chaînes de Markov cachées constituent un formalisme universel dans la hiérarchie des formalismes stochastiques, au même niveau que la machine de Bernoulli-Turing.

<sup>44</sup> Dans le monde des automates cellulaires, on parle souvent de *particules* ou de *signaux* (qui forment des lignes discrètes sur les diagrammes espace-temps).

<sup>45</sup> La prévision du futur découlant de l'utilisation d'une partie connue au sein d'une série chronologique. Mesurer le nombre d'informations présentes dans le passé du système revient à prédire le futur de celui-ci. Bien plus, tous les états possibles d'un système sont pris en compte par des cônes de lumière (light-cones) ou cônes espace-temps (passés et futurs) de façon à ce que n'importe lequel des prédicteurs dupliquerait l'information déjà présente dans les états causaux. Il semble que le terme light-cones pour analyser les processus stochastiques dans l'espace soit dû à Kolmogorov, qui les appelle alors « jeux causaux » dans le contexte d'un modèle de cristallisation. Shalizi, C.R. & Robert Haslinger, R & Rouquier, J-B & alii (2006). « Automatic Filters for the Detection of Coherent Structure in Spatiotemporal Systems ». In *Physical Review*, vol. 73, Issue 3.

<sup>46</sup> La notion de *downward causation* introduite par le psychologue américain Donald Thomas Campbell décrit le moment où les systèmes complexes gagnent un degré d'autonomie à partir des niveaux les plus bas. Cela correspondant, comme le dit Campbell au fait qu'un système d'objets qui intègre un tout plus grand est affecté en retour par ce tout.

<sup>47</sup> Thompson, E. & Varela, F. J. (2001). « Radical Embodiment: Neural Dynamics and Consciousness ». In *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), p. 418-425.

ou contrôler leurs comportements. Ce qui peut s'interpréter en tant que dépendance informationnelle entre niveaux. Comme si un processus automatique (*bottom-up* : phénomène de complexification qu'on retrouve par exemple dans l'enchevêtrement causal des niveaux d'organisation en biologie et dans les phénomènes de chaos où les haut- et bas-niveaux en tant qu'observations simultanées du même processus sous-jacent, conférerait une nouvelle vision essentielle des choses qui nous entourent. Ici commence aussi, peut-être, ce qu'on nomme imaginaire ou création ou encore « intelligence ». Le bas niveau pouvant se rapporter au cerveau de l'observateur, le haut-niveau au Réel à la fois passé, présent et futur. On parle alors de « stigmergence ». Il s'agit d'un changement de point de vue majeur qui, dans le domaine de l'observation, crée de nouvelles voies interprétatives ; y compris dans les champs épistémologique et esthétique. Ces recherches aboutissent d'une certaine façon à mettre en scène, la pensée « mécanique » de l'esthétique voire du sentiment esthétique, l'idéal dont nous ne connaissons que des reflets épars. Elles décrivent également de manière non-linéaire la perception et l'entendement de l'observateur.

### TOPOLOGIE DE LA PENSEE ET DE LA CREATION

Quant on considère les tableaux de Francis Bacon, leur lecture est sans doute encore plus malaisée qu'il n'y paraît. Dans un premier temps, l'art de ce peintre, lorsque l'on suit une rétrospective de son œuvre, semble être conçue, au début du moins, comme représentation d'un espace vide, profond qui évoque le Cosmos. Souvent le fond de la toile est sombre, plein de ténèbres.<sup>48</sup> Parfois même ce fond est absolument noir.<sup>49</sup> Puis il y a toujours ces trajectoires de lignes blanches lumineuses éclatantes, rayons abstraits, sillonnant l'espace semblant y flotter comme une écriture particulière et qui vont et viennent, au-delà d'une simple composition dynamique, pour le circonscrire et le contrôler. Ces lignes deviennent des constructions ébauchées, puis plus patentes de cubes, de parallélépipèdes de verre ou de cages de « glace » (*Study for Portrait*, 1949 ; *Figures in Movement*, 1976), voire des structures plus complexes pour suggérer un espace en trois dimensions. Ces lignes telles « *les lignes de force de Faraday* » (Valéry) contraignent l'espace « cosmique » et définissent à l'intérieur des limites du tableau, un lieu de représentation qui renvoie à un au-delà non perceptible sur la surface de la toile, devenant lieu d'énergie et de concentration.<sup>50</sup> Cet espace en trois dimensions (sorte d'espace temps-physique) encore plus exprimé en tant que substrat de l'œuvre, est présent dans la plupart des peintures de Bacon qui agit en architecte, opérant comme pour une curieuse mise en scène de théâtre. Conçu tel un tableau au sein du tableau, cet espace de représentation bâtit en effet la forme d'une *scène*, espace même, traditionnel de la représentation (*templum*), sur la toile.<sup>51</sup> C'est d'ailleurs un procédé très simple pour encadrer la figuration, afin d'isoler la Figure et de mieux en marquer l'individualité (y compris psychologique), enfermée, coincée dans une atmosphère de claustration.<sup>52</sup> Si l'on suit ces lignes blanches des premières œuvres du peintre, on s'aperçoit qu'elles construisent donc peu à peu cet espace de figurations 3D, puis se retrouvent en lignes noires ou sombres dans des intérieurs de pièces, de chambres aux panneaux plats, des vestibules, des escaliers, des cabinets de toilette, élevant par projections de rectangles abrupts des portes, des fenêtres. Enfin, ces lignes se remplissent par une sorte de « placage », *aplats* de couleur vive, uniforme et immobile, nourris en même temps aux données historiques de la peinture (natures mortes, vues tronquées de paysages, de scènes de genre) avec des emprunts ou hommages à d'autres peintres.<sup>53</sup>

Tout y est pourtant bouleversé, tordu, disloqué, défiguré, déformé et re-formé, en « distorsions d'espaces et de temps », parfois à la limite du reconnaissable. Techniquement à grands coups de

<sup>48</sup> Comme dans *Man at Curtain*, 1949 (inachevé) ; *Pope II (Pope Shouting)*, 1951 ; *Portrait of Lucian Freud*, 1951.

<sup>49</sup> *Crucifixion* (1933), *Head I* (1949), *Dog III* (1952).

<sup>50</sup> On le voit encore dans *Figure with Meat* (1954) qui combine *Bœuf écorché* de Rembrandt et le souvenir du Pape Innocent X de Vélasquez. Ou également dans *Pope* (1955), dans *Man with Headwound* (1955) et plus nettement encore dans *Man carrying a Child* (1956), *Seated Figure* (1961) *Study from Innocent X* (1962).

<sup>51</sup> Kapoula, Z & Lestocart, L-J (2007) « Perception de l'espace et du mouvement dans *Study of a Dog* (Etude de chien) de Francis Bacon ». In *Intellectica*, n° 44.

<sup>52</sup> Thème particulièrement visible dans *Version Two of Lying Figure with Hypodermic Syringe* (1962).

<sup>53</sup> Tels Van Gogh (*Landscape after Van Gogh*, 1952) et plusieurs *Study for a Portrait of Van Gogh* datant de 1957), Rembrandt, Vélasquez bien sûr et Goya (*Study for Bullfight*, 1969 ; *Second Version of 'Study for Bullfight No.1'*, 1969).

chiffons, de brosses, d'éponges sur la peinture, restituant ainsi une « logique de la sensation » comme le dit Gilles Deleuze dans son essai au titre homonyme.<sup>54</sup> Pourquoi ? Cela a sans doute trait à la représentation même d'une extrême concentration ; celle mise en œuvre pour et surtout *par* la perception du spectateur ... Notation qu'on ne lit guère chez les historiens d'art et les exégètes de tout ordre. Cela importe peu. Ce qui importe, c'est que ces œuvres apparaissent peu à peu avoir été conçues/interprétées par le peintre comme des espaces complexes (ou des systèmes complexes) où le mouvement joue un grand rôle.<sup>55</sup> Bien plus elles ont été engendrées pour l'observateur. Dans certains tableaux, chaque touche, chaque coulée semble suivre l'enroulement de l'œil du spectateur sur tel ou tel détail. Comme si Bacon avait voulu attirer l'attention la plus forte en un certain endroit. Anticipant le déplacement de l'œil du spectateur sur la toile en le fixant même sur le tableau.

Une autre composante structurelle sur laquelle les exégètes se gardent curieusement d'insister dans les études sur Bacon est la sensation et finalement la présence très forte, très flagrante de relief, dans beaucoup d'œuvres, lui conférant un caractère d'exception au regard de celles d'autres peintres. Si ce terme de relief paraît assez « pauvre » dans l'évocation, il est pourtant le seul qui puisse traduire cette impression d'une peinture se détachant sous notre œil et en « réalité » pour se suspendre dans l'espace, comme en totale saillie et en dehors des limites planes de la toile. Ce relief d'une extraordinaire intensité qui semble fermenter dans la toile - donnant parfois l'impression d'une structure en 3D -, apparaît peu en effet dans l'Histoire de l'art.<sup>56</sup>

Comment ce relief se constitue ? Dans beaucoup d'œuvres de Bacon, le jeu sur le mélange de vraies et de fausses perspectives, ainsi que la présence de ces « cubes, parallélépipèdes de verre ou cages de glace » vus plus haut et les rapports en résultant, crée une double perception. Le parallélépipède baconien présente en effet un dessin ambigu et complexe, une sorte de cube de Necker qui paraît être tantôt une architecture de verre, tantôt une architecture de traits ou de « fils » et qui ne va pas sans un étrange contrat.<sup>57</sup> Car il peut être interprété de deux manières différentes. Et quand on observe le dessin, on remarque alternativement chacune des deux interprétations valides.<sup>58</sup>

Enfin, une des formes, « composés » substantiels, qui revient le plus souvent dans les toiles de Bacon est l'ellipse (cercle en perspective). Cette ellipse, qui ancre l'idée de scène de théâtre parfaitement close ou de cirque, pourrait aussi être rapprochée des tours incessants que le peintre effectue dans son atelier comme le montre certains documentaires, mais elle est surtout inspirée par les tableaux de Goya sur la tauromachie. La scène « picturale » est une arène où peuvent se livrer tous les combats. De quelle nature est alors ce combat, plus exactement ce combat « à venir » ?

Si l'on regarde attentivement l'*Etude d'après le portrait du Pape Innocent X de Vélasquez* (1953), ce qui frappe au premier abord, c'est certes le cri du pape, cette bouche d'ombre ouverte comme hurlant de douleur, mais bien plus, quand on se trouve face au tableau, c'est au-delà de son sidérante expressivité et présence quasi-vivante, cette sensation de relief que nous avons indiquée. Le phénomène est à son comble et l'on en calcule bientôt les conséquences. Plus une figure de style. Une certitude. *Exécution ... chaise électrique*. Ou quelque chose d'approchant. Ce choc que reçoit le « condamné » se produit en même temps dans notre cerveau. Non pas tant parce que ce que nous voyons ou « croyons voir » est horrible (aussi au second sens de l'*horribilis* latin qui signifie alors *étonnant, surprenant*), mais parce que la cognition que suscite la peinture se fait en temps réel et, d'un coup, se met à nous fournir quantité d'informations.

<sup>54</sup> « La sensation, c'est ce qui est peint. Ce qui est peint dans le tableau c'est le corps, non pas en tant qu'il est représenté comme objet, mais en tant qu'il est vécu comme éprouvant telle sensation. ». Deleuze, G. (2002). *Francis Bacon. Logique de la sensation*, Paris: Seuil.

<sup>55</sup> Même si dans les vingt dernières années du peintre l'œuvre semble « intelligiblement » « se figer ».

<sup>56</sup> On peut par exemple l'observer beaucoup chez Van Gogh (*Le café de nuit*, 1888 ; *Nuit étoilée*, 1889 ; *Champ de blé aux corbeaux*, 1890 ; *Église à Auvers* 1890 et l'incroyable *Autoportrait* de 1889), au début de l'œuvre de Picasso et généralement dans ses dessins, et aussi dans les toiles du Greco.

<sup>57</sup> Techniquement, le cube de Necker est de fait un dessin des arêtes d'un cube en perspective cavalière, ce qui signifie que les bords parallèles du cube sont dessinés avec des lignes parallèles sur le dessin. Quand deux lignes se croisent, le dessin ne montre plus laquelle est devant et laquelle est derrière. Ceci le rend équivoque.

<sup>58</sup> Ludwig Wittgenstein dans le *Logisch-Philosophische Abhandlung (Tractatus logico-philosophicus, 1921)* évoque cette perception « multistable » : « Percevoir un complexe veut dire percevoir que ses constituants se rapportent les uns aux autres de telle ou telle manière. Cela explique sans doute également que l'on puisse voir la figure de deux façons différentes comme cube ; et tous les phénomènes semblables. Car nous voyons justement réellement deux faits différents. (Si je regarde d'abord les angles a et seulement de façon fugitive b, alors a semble en avant et inversement.) » Wittgenstein, L. (1961). *Tractatus logico-philosophicus*, suivi de *Investigations philosophiques*, trad. fr. P. Klossowski, Paris: Gallimard, coll. « Tel ».

Plus, en tout cas, que nous ne pouvons supporter. D'où le cri renvoyé par la peinture devant une certaine évidence de ce qui a effectivement lieu. Au premier stade nous ne pouvons que crier.

Ces informations reçues instantanément par notre entendement et qui exclut l'attitude cognitive passive, constatative habituelle, sont de plusieurs sortes. On peut d'abord noter le dispositif de cascade laminaire de lignes vertes-jaunes, de traits assez épais, grossièrement parallèles (indice de présence de rideau), qui descendent ou montent en droite ligne, comme « des gouttes de pluie », qui « ne cesseraient de tomber », à l'intérieur du tableau, « à travers un vide immense » (*De Natura rerum*, Liv. II). Elles semblent être là en effet telles les *fati foedora* (les lois et limites de la nature ou lois de la « fatalité ») du philosophe-poète épicurien Lucrèce. On peut ensuite observer - ce qui est au reste réitéré dans nombre d'œuvres du peintre-, que ces lignes brisent leur course au deux tiers ou parfois même à la moitié du tableau, produisant un écart, une déviation qui paraît au bas de la toile spatialement indéterminée et aléatoire. Les bifurcations qui les font ainsi se courber, agissent alors comme le *clinamen* lucrécien (« déclinaison » fortuite), soit le mouvement spontané par lequel les atomes dévient de la ligne de chute causée par la pesanteur. Imaginons maintenant que la signification de ce couple *fati foedora/clinamen* soit simplement mis là pour nous incliner à voir les choses d'une autre façon que s'en remettre à une simple lecture suivant les *idées qu'on se fait des tableaux*.<sup>59</sup> Cette singularité au sens propre (théorie des catastrophes de René Thom) nous invite, telle une plongée dans une certaine forme d'*indicible* et d'*incommunicable* à insensiblement comprendre que la lecture/interprétation se fait par l'œuvre elle-même (par récursivité) au moment où son potentiel énergétique se rencontre avec notre cerveau. Or ce qui sourd de cette « rencontre » ressort de ce que les physiciens (et astronomes) nomment structures cachées indétectables. Et il faut bien évoquer peu à peu dans cette peinture, comme dans la linguistique de Chomsky, des structures profondes, *dynamiques internes*, non figurées sur la toile, (et qui seraient, ici, formées de plusieurs choses en une masse indistincte - *ni étendue, ni figure, ni divisibilité possible*), mais dont la construction « logique » de cette dernière, son mouvement et son relief suggèrent la présence. Afin de rendre visibles des forces « vitales » invisibles par elles-mêmes, une *actualisation délibérée* de potentialités qui renvoie au-delà, au « cosmos lointain » auquel elles appartiennent. Voyons deux autres exemples pour préciser.

*Pulsar* (Maria Klonaris et Katerina Thomadaki, 2001, vidéo numérique, 14 min.) pourrait montrer la dynamique qui s'accomplit alors.<sup>60</sup> La vidéo *Pulsar (pulsating radio source)* - évoquant une étoile à neutrons, née par effondrement d'une autre étoile ayant explosé en nova, qui présente une intense émission électro-magnétique<sup>61</sup> -, ne comporte aucun élément de décor et se situe comme dans un espace blanc surexposé primordial. L'image générale évoque un *hors-là*. Un isolement parfait et franc, au sein d'un espace né d'une topologie singulière s'apparentant à celui de la contemplation et de la *réflexion* (voire de la récursivité) d'une œuvre sur elle-même. Cette vidéo numérique montre le haut d'un corps et le visage d'une femme en noir et bleu (images en négatif) prise parfois dans les effets d'incrustations d'un feu d'artifice.<sup>62</sup> L'effet-pulsar, qui diffuse dans l'espace un rayonnement au travers d'émissions lumineuses très brèves se reproduisant à intervalles extrêmement réguliers, est évoqué, là, par un montage complexe, a-narratif. Le battement d'images de vidéo numérique, mouvement indéterminé, telles des sautes, des processus « mécaniques » de segmentation du temps qui se succèdent, décrit une sorte de reprise/hésitation à la fois perceptive et cognitive, sur la forme définitive à acquérir par l'œuvre, peut-être l'indice d'un phénomène sous-jacent dans sa lecture/interprétation, propre à traduire le visible *qualitatif* en un invisible *quantitatif* et qui ramène la variété infinie des formes possibles à un schème général, pour le moment caché en profondeur et structuré tel un langage.<sup>63</sup> Drôle de mélange

<sup>59</sup> Bacon parle lui-même de « diagramme », mot repris par Deleuze.

<sup>60</sup> Maria Klonaris et Katerina Thomadaki sont deux cinéastes expérimentales féministes, auteurs également de performances, d'installations et de manifestes, qui veulent créer des images *véritables* qui ont du « corps » et qui nécessitent un temps de regard différent de la part du spectateur. Elles parlent au sujet de leur œuvre de Cinéma Corporel.

<sup>61</sup> Tournant très rapidement sur elle-même, elle agit comme un aimant et engendre des champs électromagnétiques ayant sa fréquence de rotation. Le champ magnétique tournant crée à chaque rotation des champs électriques très intenses qui diffusent dans l'espace un faisceau de rayonnement au travers d'émissions lumineuses très brèves balayant la ligne de visée de l'observateur terrestre et qui se reproduit à intervalles extrêmement réguliers.

<sup>62</sup> Ce feu d'artifice peut symboliser l'arrachement par les champs électriques des protons et des électrons à la surface de l'étoile qui donnent naissance à des courants et constitue une magnétosphère.

<sup>63</sup> *Pulsar* commence d'ailleurs par une vision de l'œil (iris et pupille) comme centre d'évocation de la vision à venir.

de matière et de mental où l'un et l'autre semblent s'épuiser, tissant tout un monde à la fois extérieur et intérieur. Sautes (fragmentations numériques et tremblements convulsifs de l'image) qui peuvent « imiter » des processus stochastiques, des chaînes de Markov en quelque sorte, indices de possibles développement, d'une auto-organisation de l'image, du sens, en train de s'effectuer ; en une « dialectique » subtile entre dynamique interne et espace externe (l'image, le représenté) qui rend possible cette modélisation quasi-mathématique qu'on appelle improprement *sentiment esthétique*. Car ces chaînes pouvant être présentes aussi dans le cerveau du spectateur à la fois comme simulation en réponse à ce qu'il voit et construction propre de l'opération de son esprit. De quoi s'agit-il ? Cet effet *miroir* nous conduit à poser le problème d'une « articulation » associative entre les deux. <sup>64</sup> En tout cas, *Pulsar* porte bien son nom. La « source d'information » vient de loin ou plutôt d'*en-dessous*. En ce sens qu'à la fois mémoire, être et dynamique, elle interagit avec notre esprit pour faciliter notre perception. Il se produit ainsi sans doute un « entrelacement entre perception et action », vision et actes moteurs, comme si, de fait, une *congruence* s'établissait.

Une des meilleures illustrations de cette « information cachée », couplant langage, forme et dynamique, serait aussi *Happenstance (Part One of many Parts)*, vidéo noir et blanc de 6 mn 47, bien nommée de l'artiste américain Gary Hill, réalisée en 1982-83 avec un Rutt/Etra Scan Processor IVS (Intelligent Video System). <sup>65</sup> *Happenstance* explore au plus près, de manière précise - grâce à des façons de représenter « par le dedans » le mécanisme de la pensée -, du point de vue proprement épistémologique : les possibilités de construction et de déconstruction d'une situation/événement par le cerveau et les organes sensoriels comme autant de suggestions (*affordance*). Soit encore comment on passe d'une pensée à une autre, à un niveau microscopique. *Happenstance* selon l'auteur veut justement traduire le surgissement d'une pensée, son ouverture à l'illimité et son imprévisibilité, en s'appuyant sur une description à la fois linguistique et mathématique. Il s'agit, comme dans des travaux précédents, tel *Processual Video* (1980), d'associer - en synchronie (temps-réel) grâce au Rutt/Etra-, à la fois matérialisation de l'image visuelle et voix pour énoncer des processus mentaux, bio-psychiques, conduisant à formaliser la construction des pensées via les perceptions. *Processual Video* montre ainsi une ligne continue à l'horizontale qui est mise en rapport avec les impacts que le réel physique produit sur nos appareils sensoriels. Ligne qui semble constante - ne cessant de se matérialiser et de se dématérialiser (ensemble de tirets ou forme pleine), s'épaississant de plus en plus quand elle se met en mouvement, animée par un texte autoréférentiel (« *ses perceptions reflétaient ce qu'il conçoit comme étant vrai* »). Elle est modélisation des transformations ponctuelles et successives s'opérant dans le système nerveux et le cerveau en évolution progressive avec ce qui est perçu par lui et montré pour nous. Il y a ainsi comme une boucle continue de transitions cycliques jouant un rôle de premier plan dans l'interprétation. Dans ces procédés de feedback (rétroaction) et de récursivité (boucle récursive), créant un circuit où les effets rétroagissent sur les causes, les processus de perception et d'interprétation du spectateur, répondant aux processus d'émergence dans la conscience de ce qu'on appelle des « phénomènes », sont le propos, le tissu cognitif même de l'œuvre. Processus qui se dotent d'une représentation épistémologique.

Comme le dit la physicienne/épistémologue Mioara Mugur-Schächter, la conceptualisation, par l'homme, de ce qu'il appelle le « réel », est elle-même phénomène « réel ». <sup>66</sup> Pour traduire cette complexité du réel, dans *Happenstance*, ces processus d'émergence suggérés dans *Processual Video* sont rendus, *transférés* en manifestations observables, telle une vérité cachée. D'abord il y a la voix de Hill sur

<sup>64</sup> Il peut être intéressant de constater que ce point de vue pourrait s'accorder avec de récentes études. Bart Krekelberg, neuroscientifique travaillant à l'Allgemeine Zoologie und Neurobiologie, Ruhr-Universität, Bochum (Allemagne), montre ainsi lors de séries d'expériences électro-physiologiques que la préférence directionnelle des cellules dans les régions corticales sensibles au mouvement (soit l'aire médio-temporale supérieure) est influencée par des indices de forme impliquant du mouvement visuel. Krekelberg, B. (2003). « Neural Correlates of Implied Motion ». In *Nature*, V. 424. Cité dans Kapoula, Z & Lestocart, L-J (2007) « Perception de l'espace et du mouvement dans Study of a Dog (Etude de chien) de Francis Bacon ». In *Intellectica*, n° 44, déc. 2006.

<sup>65</sup> Le Rutt/Etra Scan Processor IVS (Intelligent Video System), créé par Bill et Laurie Etra en 1971 en collaboration avec l'ingénieur-artiste Steven Rutt, et commercialisé par Rutt Electrophysics Corp, est un des instruments qui révèle le mieux sur un support vidéo le « temps réel » - temps de la pensée (et donc de l'interprétation et de la cognition), temps objectif et conscient de l'expérience.

<sup>66</sup> Voir Mugur-Schächter, M. (1997). « Les leçons de la mécanique quantique : vers une épistémologie formalisée ». In *Le Débat*, n° 94, Mars-Avril.

la bande sonore. Apparaît alors un carré bi-dimensionnel de radieuse brillance au centre de l'écran, puis le carré se déforme en sphère (cercle), laissant place à un triangle qui, finalement, devient figure géométrique en trois dimensions (cône tournant lentement sur lui-même). Surgissent, en même temps que la voix qui les dit, les mots *ceci* (this) et *cela* (that) et *l'autre chose* (and the other thing). Puis *Things*. Ce qui désigne généralement le monde et ses objets entendus dans une perception immédiate ; celle qui pousse à sélectionner un certain champ de perception pour les yeux et finalement pour l'esprit. *Things are going to happen*. Suivis du terme *happenstance* qui résonne en écho. Tous ces mots sont associés au son d'une corde de guitare, du tambour, de la cymbale et aux images correspondantes du carré, de la sphère et du triangle, qui, brillant mystérieusement au « dehors » et d'abord immobiles, immuables, au centre du cadre, se sont mis à bouger, à se déformer sur place comme pris dans un vortex. Plus tard le texte s'affichant sur l'écran « parle » de *sticks in the mud*, (de traces) de bâtons dans la boue, motif récurrent chez Hill de l'écriture et de la conscience. Mais ces traces peuvent aussi évoquer des structures cachées dans l'inconscient, peu explorées, que la perception, en tant qu'elle est *entendue* et donc *limitée* ne peut saisir. Aussi bien les signes/lettres s'écrivant alors sur l'écran se font idéogrammes « non-compréhensibles ». Les vibrations lumineuses et électroniques qui les accompagnent correspondant toujours aux vibrations de la voix. Des formes plus ou moins stables sortent encore du noir, émergent progressivement comme s'ils existaient indépendamment de toute perception et de toute opération cognitive traditionnelles. Pour souligner encore cet effet de l'œuvre livrant à l'esprit son propre *sens*, vient le moment des *Vanishings points* (points de fuite, mais aussi points en train de disparaître). Sur toute la largeur de l'écran vidéo s'écrit *vanishing points (of view)*. Puis, par un brusque effet, cette écriture s'effondre (comme annoncé). Sans doute parce qu'elle correspond à cette perception de surface, observable, codable, communicable que nous dénonçons plus haut et qui est, peut-être, désormais, à considérer comme point-zéro de connaissance. Elle se recompose pourtant avec le caractère intrusif des échos et des sons d'instruments de musique (tambour, cymbale et corde de guitare) et leurs interférences avec l'esprit pour dessiner des « objets », contours architecturaux (pyramides de lettres) plus ou moins ébauchées ou rigides, qui à leur tour se défont, se détruisent ; se tordant, se liquéfiant, fondant, explosant ... Ce « moment de l'architecture », souligné par la voix (*happenstance*), est presque une image sacrée et néanmoins beaucoup moins abstraite et inaccessible. Des écritures, des calligraphies inconnues semblent y ouvrir le sens du monde comme l'ouvre pour les peintres chinois le « trait de pinceau ». <sup>67</sup> Ces lettres *illisibles* à destination du monde s'unissent, se dissolvent les unes dans les autres ou se recouvrent de caractères occidentaux, de nouvelles apparaissent qui, à leur tour, s'unissent et se dissolvent pour donner naissance à d'autres, former de nouveaux mots ... et ainsi de suite. En même temps des figures se composent. Sans arrêt, à petit flot. Des formes dessinées très pures qui évoquent des dessins « chinois ». Vient une sorte d'arbre stylisé de la Connaissance (un modèle de la « vraie » cognition, du vivant, du monde, une philosophie de la nature implicite ?), où volent dans l'espace et également tombent des signes. L'arbre amenant, par sa structure, l'idée de bifurcation, des branches se dessinent et produisent des floraisons et des éclosions des mots. <sup>68</sup> Des mots encore surviennent entre les racines, zone là encore *enfouie* et pourtant ici *désenfouie* sous nos yeux. Enfin les mots chutent, vibrent et s'éteignent.

En définitive il ne reste ni chaos, ni incohérence, mais toute puissance d'un Logos qui se fait enveloppant. <sup>69</sup> Ce logos fondamental *tragiquement* déterminé qui compose un « paysage de langage, de sons et d'images », ne s'adresse en définitive à personne. La parole étant prisonnière du monde (algorithme, description, intellection) crée ici des déplacements dirigés comme dans en sens opposé à notre perception et notre entendement, vers des volumes conceptualisés, aux cimes de l'abstraction sous formes de traits de lumière et de *sculptures linguistiques et tridimensionnelles* rappelant les représentations mentales empruntées à la physique et à la mathématique, tels les *puits de potentiel*, *tores* et *anses topologiques*, apparaissant dans la réaction B-Z.

<sup>67</sup> « L'Unique Trait de Pinceau est l'origine de toutes choses, la racine de tous les phénomènes », écrit le moine et peintre bouddhiste Shitao (1642-1707) dans *Les propos sur la peinture du Moine Citrouille-Amère*. Ce trait - non simple ligne mais unité vivante (faite de pleins et déliés) -, est l'équivalent du Souffle qui a créé l'univers.

<sup>68</sup> Pour Chomsky dans *Aspects of the Theory of Syntax* : « the deep structure of a sentence is a tree (the phrase marker) that contains all the words that will appear in its surface structure », c'est-à-dire : « la structure profonde d'une phrase est un arbre (le marqueur de la phrase) qui contient tous les mots qui apparaissent dans sa structure de surface. »

<sup>69</sup> *The words are coming/ Listen to them/ Nothing surrounds them/ They are open/ They speak of nothing but themselves/ With perfect reason.*

Ce qui est à l'œuvre dans le « désenfouissement » opéré dans *l'Etude d'après le portrait du Pape Innocent X de Vélasquez* répond à la « dynamique » observée dans *Pulsar* et dans *Happenstance*. Il y a comme surgissement d'un autre monde - autre monde, montré auparavant comme inatteignable par le cube de verre dont la transparence *gelée* (formalisme cognitif ?) nous sépare des choses-, et idée profonde d'autoréférence de la peinture avec boucle de récursion/récurtivité incluant le spectateur dans l'opération de déchiffrement.<sup>70</sup> Il existerait ainsi dans certaines œuvres d'art (ou dans toutes), un sens caché, *leur sens* que je ne peux réduire ou synthétiser en un seul « objet ». Un sens caché qui, par désenfouissement, voit s'entrelacer inextricablement concepts, données, tout autant physiques que psychiques, et mots et signes. Évidence d'une perception authentique et d'une intelligibilité mêlées ? Que serait finalement la complexité si ce n'est le fait de s'apercevoir de l'existence de phénomènes *inobservés* et *inétudiés* jusque-là ? Et que serait un second ordre de la Complexité, si ce n'était celui de les lire et les comprendre ? C'est peut-être là que se trouve la source la plus vive et profonde d'un art entendu dans ses complexités, un art que l'on ne peut réduire à des explications finies et fermées.

### REPRESENTATION DES COMPLEXITES

Une autre vidéo numérique de Klonaris et Thomadaki, *Angel Scan* (2007, 25 min.) marque un pas dans cette progression. Sur un visage portant lunettes noires et un corps quasi immobile (l'image, celle de Maria, bouge très lentement, mais subit sans cesse des « gels »), tout au long du film, s'écrivent des micros événements : taches, « neige » électronique, points, tourbillons, flashes, déflagrations comme dans *Pulsar*, mousse de points, décomposition/dessiccation de temps en temps de l'image, ondes, toutes sortes de turbulences, de perturbations, d'oscillations désordonnées (espace des phases) comme issues d'une source inépuisable. À un certain moment, des structures semblent être en « métal », entrecroisées, tissées (complexes donc) se forment, à partir du bas de l'image, se déployant par couches vers le haut.<sup>71</sup> À d'autres moments, ces structures/écritures, n'existant au départ qu'en puissance, paraissent entourer l'image du début (visage et corps), s'y inscrivent même parfois ; modélisant ainsi, en même temps, l'idée de scanning (balayage) d'une grande partie de la surface. Cette opération de scanning débouche sur le désenfouissement de ces sortes d'« écriture du dedans » et d'autres indices de structures cachées au sein de l'image ; *patterns* qui la travaillent du dedans, du dessous, avec avancées et reculs.

Ces micro-événements qui se mettent en boucle (de rétroaction et de récursivité), reviennent périodiquement, et, ce qui est engendré ainsi, à la limite, on pourrait le nommer : flux. Les effets de scan génèrent ainsi un afflux de formes, se rapportant à une masse des signaux, ou de bruit, proches de ceux de la théorie des communications de messages de Shannon. Signaux/bruits, ici, nécessaires dans la constitution de l'image pourtant déjà là depuis le début, mais se reformant sans arrêt. Et dans notre œil et dans notre cerveau. L'image naît et re-naît pourtant sans cesse, parfois, dans une idée de rotor ou de vortex (tourbillon), « large » et lent qui renvoie un peu au thème du pulsar et donc de *Pulsar*.

Il se transcrit dans cette imagerie une lecture de la complexité, introduite par le scanning. Les micros-événements, idées de particules dansant devant les yeux, peuvent également correspondre au travail de lecture par le spectateur de ce qu'il contemple ou à la simple fixation de l'image provoquant des phosphènes. Ce qui naît reproduit des opérations cognitives qui cherchent à identifier les phénomènes que l'on a devant les yeux. Processus inférentiel ou associatif, de pensée, d'analyse du phénomène ?

Dans ce cas, on pourrait fort bien constater une idée de récursivité où l'action du spectateur serait visible dans l'œuvre ou serait, tout au moins, symbolisée, *mimée* en quelque sorte. Comment les formes naissent, est bien la question que suscite *Angel Scan*. La vidéo y répond par la mise en

<sup>70</sup> Bien que cet objet d'étude réponde à un terrain d'expérience où s'enracine la capacité d'*entendre* les phénomènes artistiques non seulement en tant que sujets individuels, mais aussi et surtout en tant que sujets sociaux, je puis affirmer, pour ma part que, face à cette toile, les « variables cachées indétectables » s'affichent puissamment dans le cerveau, au point de vue physiologique et au point de vue épistémologique, tant les yeux reçoivent des excitations visuelles diverses. Comme l'évidence d'une force qui s'impose, cette nouvelle condition d'intelligibilité s'accompagnant d'une cascade de mots, de phrases, comme les lignes « fati-foedora » décrivent une cascade laminaire ; cascade de transitions d'un état à un autre telle une suite de fragments encore informes que je vois comme déchiffrables dans leur ensemble et auxquels on peut sans doute prêter des formes sensibles. Les tracés vers le bas, dus au clinamen, complètent la *lecture*. Lecture qui n'induit rien d'autre que ce que je suis en train de démontrer.

<sup>71</sup> Structures obtenues par simple dérèglement du signal.

représentation de l'exploration sans limite d'un système dynamique non-linéaire avec lignes courbes, boucles, récursions se construisant sans cesse dans l'espace : un chaos qui s'organise (comme un être vivant). Ce que Valéry a nommé la Voix pour désigner cette « formation systématique des formes »<sup>72</sup>, ces transformations, modulations, à travers un « chaos primitif ». Le moment important, de « révélation pure », et donc d'adéquation avec le sens, est ce moment où apparaît une image achevée, avec ses ombres et ses lumières, de Maria en noir et blanc, bistre, tel l'instant d'évidence. L'image, dans son immobilité même, semble non filmée (elle l'est pourtant), mais photographiée. C'est comme si on avait dans cette image la plus simple qui se puisse concevoir, l'image « matrice » en son originel surpassement, en tant que « capacité de genèse des formes ». En philosophie, on dira avec Heidegger que cette image est comme « ouverte à un infini, se trouvant comme infini dans l'infini ». Cette ouverture *active, créatrice* est aussi le moment central qu'évoque le poète Hölderlin en décrivant la *Stimmung*, où se déploie, tel un origami, un « espace intérieur du monde », l'unité des sentiments qu'un homme éprouve en étant confronté à ce qui l'entoure. L'espace qui s'ouvre alors, s'ouvre en même temps dans son propre corps. Là se situe l'avènement *en permanence*. « L'Ouvert, tel qu'il s'ouvre pour se saisir de tout. » (Heidegger) ; tout se fonde, données objectives et subjectives, en unité harmonieuse. Étrange *vérité*. Certainement le commencement propre du passage entre matière sensible et esprit qui se traduit ici en outre par la lisibilité d'une certaine « réalité » située derrière.

La longue montée graduelle ou descente des écritures, enfouies puis « révélées », (comme les montées et descentes des *fati foedora* présents chez Bacon), à chaque fois divers états, intensités de chutes et de hausses, conduit donc vers l'évidence, l'image « photographique ». Plus tard cette image de Maria paraîtra « aurifiée »<sup>73</sup>, statufiée, renforcée par ce référent sculpture dans son immobilité même en une déformation saisissante du visage et du corps, telle l'ébauche d'une anamorphose (mouvement orienté simultanément vers le bas et le haut), correspondant peut-être à une certaine « fatigue » de fixation par l'observateur, ici rendue.<sup>74</sup>

La thématique de Maria et Katerina est celle de l'Ange. Sans entrer dans les détails, cet « ange » rémanent (un hermaphrodite nu aux yeux bandés, issue d'une imagerie médicale) qui a fait déjà l'objet de nombreuses vidéos et installations<sup>75</sup>, lutte sans cesse avec le personnage de Maria (les yeux bandés étant rendus par les lunettes noires). Ces deux entités-couches de sens implicites sous-jacentes, profondément ancrées et formées d'une masse indistincte -, fusionnant aveuglément pour n'en incarner qu'une seule.

Chacun des micro-événements repérés dans *Angel Scan*, est plus ou moins accompagné de changement. Plus, ils les annoncent, voire les déterminent. On pourra parler de régimes ou encore plus précisément de phases (changements de phases). Le scanning permet en quelque sorte de vérifier le phénomène. Un phénomène toujours-déjà-là-présent, sous-jacent, immanent. À la fois intérieur à l'esprit (représentation) et au-delà de l'esprit, comme le montrent des images de fleurs qui infiniment, vers la fin, *fleurissent*. La Nature s'exprime alors, mais aussi l'idée du vivant, l'éclosion est la forme qui répond au grouillement de possibles des « écritures » vues antérieurement. On peut en donner une certaine interprétation par l'idée de morphogenèse, d'une image/morphogenèse symbolisée, ici, par l'éclosion (émergence), le développement de fleurs.

D'autre part, chacun des changements observés a un « ordre » différent. Il y a ainsi plusieurs ordres qui semblent s'étager, se hiérarchiser. Leur hiérarchie, leurs successions susceptibles de permettre la constitution d'une image ou de l'image, nous fait bien assister à la naissance d'un langage. Ces mutations constantes correspondent à un ajustage de notre esprit, à ses essais-erreurs de perception

<sup>72</sup> Lestocart, L-J. (2006). « Paul Valéry. L'acte littéraire comme pensée de la complexité. ». In *Alliage. Culture, Science, Technique*, n° 59, décembre.

<sup>73</sup> Je dis aurifié en étendant le terme à l'action qui consiste à recouvrir une statue avec de l'or. À la fin d'un film antérieur des artistes *Umbeilich II : Astarti* (1979-1980), une femme porte ainsi une sorte de coiffe en or et des pastilles d'or sur le visage.

<sup>74</sup> Un peu comme lorsque deux personnes placées l'une en face de l'autre se fixent et voient peu à peu la déformation, voire une certaine forme de désagrégation et de restructuration, tour à tour, de ce qu'ils contemplent. Cette désagrégation, répondant à une certaine concentration, ancre cependant l'événement de phénomènes plus certains. Comme si aller voir au-delà des apparences conduisait à la vraie Apparence : ainsi, l'« authentique ».

<sup>75</sup> *Cycle de l'Ange* commencé en 1985. Parmi ces travaux, on retiendra *Personal Statement*, (1994), *Requiem pour le XXe siècle* (1994), *Pulsar* (2001) et *Quasar* (2002-2003).

et d'interprétation de l'image, jusqu'à ce que naisse l'évidence, qui se ré-enfouit à nouveau, avant de réapparaître sous formes de fleurs/morphogènes.

Les théories motrices (ou pré-motrices) neuroscientifiques portant sur l'attention, pourraient expliquer ce phénomène de désenfouissement/connaissance/interprétation. Dans le cerveau existe une aire F5 disposant d'un « vocabulaire » ou d'une bibliothèque d'actes moteurs. Cette aire F5, située dans la partie postérieure du lobe frontal, serait susceptible de produire une forme de compréhension spontanée, grâce à une classe particulière de neurones rentrant en action pour pouvoir *instruire* notre perception. Giacomo Rizzolatti, physiologiste et neuroscientifique au Département des Neurosciences, Section de Physiologie, à l'Université de Parme, y repère, dès 1996, chez les primates, puis chez l'homme, des « neurones-miroirs », couplés à ceux qui s'activent pour un acte moteur *déterminé* et sélectif.<sup>76</sup> Ses recherches via, entre autres, une imagerie cérébrale de type IRMf (imagerie par résonance fonctionnelle), montrent que la propriété de ces « neurones-miroirs » – là, pour appréhender visuellement l'objet de la perception, sans qu'il y ait d'actes –, est de créer un mécanisme spatio-visuel, projetant vers les zones motrices une description de l'action, élaborée d'abord dans les aires visuelles complexes.<sup>77</sup> Ces propriétés « miroirs » s'étendent au détail des séquences temporelles de l'action ou de l'objet observés, à des pensées ou des gestes seulement mimés.<sup>78</sup> Ce système neuronal miroir, ayant des propriétés visuelles très élaborées, a donc la capacité de fournir des copies motrices d'actions observées en une possibilité d'imitation intersubjective. C'est sans doute lui qui peut guider dans l'interprétation d'une œuvre. Donnant la possibilité de la simuler, et de re-voir le temps de son exécution.

Si l'on suit les expériences de Crutchfield et Shalizi, il s'agit bien de rendre lisible, par filtrage, grâce en particulier à l'algorithme CSSR, un univers a priori « bruité » de l'information. Autrement dit de détecter les structures cachées, « qualia » sensibles<sup>79</sup>, sous forme de patterns à l'intérieur d'un système. Esthétiquement dans cette approche de désenfouissement cognitif - qu'illustrent assez précisément *Angel Scan* et *Happenstance* -, on peut également rappeler la pensée du psycho-analyste de la vision artistique, Anton Ehrenzweig, lequel évoque dans *The Hidden Order of Art* (1967) la notion de « scanning inconscient » sur une base d'information comme ce que peut constituer un tableau. Ce scanning, « balayage » de la totalité du champ d'une œuvre, exposé chez Ehrenzweig, dans un chapitre prémonitoire intitulé *L'ordre dans le chaos*, permettrait de rendre lisible, en une sorte de « *Docte Ignorance* » ou « *Gaie Science* », tout un champ de données, variables indétectables et grande multiplicité de possibles, à partir des observations que forment les intensités perçues dans l'agencement, les structures, le relief, la profondeur, etc. du tableau ou même d'un ensemble d'images (film ou vidéo). Cette opération, « fonctionnement-Conscience » élaborant et construisant des « générateurs d'entités-objets », conférant une teneur en résultats bien plus importante qu'une étude « consciente » infiniment plus longue et plus parcellaire du fait du refoulement structurel que produisent les paradigmes de perception d'approches habituels.

Il s'agit désormais d'« estimer », de rendre lisibles, ces structures profondes, cachées au sein du tableau, structures « argumentales » chez Chomsky.<sup>80</sup> Peut-être devons-nous former les bases protocolaires de nouvelles expériences de cognition, les autres, existantes, restant sans doute réduites à quelques lois trop générales ? Sans doute, pour cela, faudrait-il forger des protocoles d'expérimentation plus affinés, et utiliser des instruments quantitatifs de précision (y compris intellectuels) plus performants permettant de vérifier ou tout du moins d'étudier plus profondément ces assertions en tenant compte de données psychologiques et neuro-biologiques, – comme on utilise déjà l'IRM

<sup>76</sup> Rizzolatti, G. & Fadiga & L., Gallese, V et alii (1996). « Premotor cortex and the recognition of motor actions ». In *Cognit. Brain Res.*, 3.

<sup>77</sup> Rizzolatti, G. & Sinigaglia, C. (2008), *Les neurones miroirs*, trad. fr. M. Raiola, Paris: Odile Jacob.

<sup>78</sup> Cette imitation a deux aspects : la capacité de reproduire une action observée, et celle d'apprendre une nouvelle action par l'observation.

<sup>79</sup> Effets subjectifs ineffables ressentis et associés de manière spécifique aux états mentaux, inconnaissables et donc aussi a-priori incommunicables.

<sup>80</sup> En tant qu'elles permettent l'interprétation sémantique.

(imagerie par résonance magnétique nucléaire) pour découvrir l'activité du cerveau et des processus neuronaux dans le temps de l'observation.

Et, d'un autre côté, fixer les enjeux de recherches pour le futur sur les œuvres d'art (y compris cinéma et cinéma expérimental, installations interactives, etc.) par le développement de nouvelles heuristiques originales, potentiellement fécondes et d'une théorie esthétique nouvelle et audacieuse. Ces heuristiques convoquant des champs aussi divers que neurosciences cognitives, psycho-esthétique, mais aussi philosophie, histoire de l'art, physiologie oculomotrice, ingénierie, mathématiques et théorisation des dynamiques complexes.

Pari pascalien ?

Louis José Lestocart, juillet 2008