Annexe 2 – La science de la complexité.

Annexes de la partie II, chapitre : Les organisations de haute fiabilité (HRO) – Karl Weick (1936)

La science de la complexité représente un changement de paradigme, passant du réductionnisme, qui suppose que les systèmes peuvent être compris comme étant la somme de leurs parties, à l’holisme, qui met l’accent sur la compréhension des phénomènes émergents résultant des interactions et qui présentent de nouvelles propriétés inexistantes dans les parties [71]. La science de la complexité a des implications philosophiques profondes, puisque son ontologie est axée sur les interactions abstraites entre les éléments (comment les personnes, les processus et les technologies interagissent pour produire un résultat souhaité) plutôt que sur la seule structure interne de ces éléments (les outils ou les équipements qui transforment les entrées en sorties). Il existe trois approches de la complexité. La première, basée sur des critères, est la plus utilisée et elle suppose que la complexité d’un système peut être décrite par des attributs tels que le nombre de composants et d’interconnexions. La deuxième approche est axée sur la définition de mesures de la complexité qui évaluent la quantité de données nécessaires pour reproduire le système (l’équivalence computationnelle, par exemple : la taille du programme informatique qui est capable de décrire ou reproduire le système) [71]. Le troisième point de vue suppose que la complexité est une caractéristique émergente des systèmes sociotechniques [72]. Les caractéristiques des systèmes sociotechniques complexes que l’on décrit dans la littérature sont : les interactions non linéaires, la faculté d’adaptation, la sensibilité à l’environnement, les boucles de rétroaction, le grand nombre d’éléments [73] et les propriétés émergentes [74]. Dans ce sens, l’émergence est une notion issue de l’épistémologie et est un moyen terme entre deux visions d’un monde complexe tel que par exemple une cellule vivante.

* le monisme réductionniste : cellules et molécules appartiennent au même domaine et les propriétés de la cellule peuvent être déduites de celles des molécules qui la compose
* le dualisme antiréductionniste : cellules et molécules appartiennent à deux domaines distincts, les propriétés chimiques de ses composants n’expliquent en rien la nature de la cellule et son comportement.

L’émergence (monisme antiréductionniste) admet que cellules et molécules appartiennent au même domaine, mais que des propriétés nouvelles apparaissent, de sorte que le tout est davantage que la somme des parties.

Une des caractéristiques des « systèmes adaptatifs complexes » est leur non-linéarité. Ce terme signifie que l’une des propriétés des lois de la causalité (le lien « dose-effet ») n’y est plus respectée. Dans un système causal strict, l’intensité de l’effet est liée à l’intensité de la cause. La loi qui lie l’un à l’autre n’est pas forcément linéaire, mais elle existe. Des boucles de « contre-réaction » qui visent à atténuer les effets des variations de dose peuvent la contrôler. C’est le principe de la « première cybernétique[[1]](#footnote-1) » et de « l’homéostasie » qui visent à assurer la survie d’un système en limitant sa variabilité (« morphostase »). Mais il existe des systèmes qui, au contraire, amplifient les différences et mènent à la création de structures nouvelles (« morphogénèse ») à partir d’un événement créateur aléatoire (naissance d’une bourgade puis d’une ville autour d’une ferme construite en rase campagne par exemple). De tels mécanismes, étudiés par la « deuxième cybernétique », peuvent expliquer le caractère émergent de certains phénomènes (des accidents, entre autres) [75]. Cet aspect, et le succès de l’image du papillon thaïlandais dont le battement d’ailes déclenche une tornade en Floride, expliquent le succès de théories catastrophistes qui veulent que le système complexe puisse se collaber à la faveur d’un événement fortuit. La dernière manifestation « historique » et spectaculaire d’une théorie du collapsus fut la crainte du « bug de l’an 2000 ». Rappelons qu’à l’époque, des langages informatiques « dominants » (le COBOL[[2]](#footnote-2) par exemple) ne pouvaient pas encoder des dates au-delà de l’année 1999. Il suffisait d’imaginer que l’un ou l’autre programme se plante dans un secteur en réseau complexe et peu redondant pour que cette panne se propage de manière imprévisible et aille potentiellement en s’amplifiant. Ce schéma rationnel en cachait un autre plus proche quant à lui de la superstition de la terreur de l’an mille. Le monde entier avait les yeux sur les pays sur la ligne du changement de date dans l’attente d’une catastrophe imminente. Le simple fait de pouvoir écrire ces lignes confirme que le collapsus n’a pas eu lieu. Ce catastrophisme ignore le fait que la complexité même des systèmes leur confère des propriétés d’adaptation (de résilience) qui rendent éminemment improbable le scénario catastrophe.

Résumons [74] :

* Les systèmes complexes sont constitués de nombreux d’éléments. Tant qu’ils sont peu nombreux, leur comportement peut souvent être décrit de manière formelle en termes conventionnels. Cependant, lorsque le nombre d’éléments augmente, les moyens conventionnels (par exemple, un système d’équations différentielles) deviennent peu pertinents et cessent d’aider à la compréhension du système.
* Un grand nombre d’éléments est nécessaire, mais pas suffisant. : les grains de sable sur une plage ne nous intéressent pas en tant que système complexe. Pour constituer un système complexe, les éléments doivent interagir de façon dynamique. Un système complexe change avec le temps. Les interactions ne doivent pas nécessairement être physiques ; elles peuvent aussi être assimilées à un transfert d’informations.
* Les composants ne sont pas forcément complexes : la complexité naît de leurs interactions et n’est pas une propriété du composant. Les propriétés du système ne peuvent donc être déduites de celles de ses composants.
* L’interaction est riche, c’est-à-dire que tout élément du système influence et est influencé par un grand nombre d’autres éléments. La quantité exacte d’interactions associées à des éléments spécifiques ne suffit pas à déterminer le comportement du système. S’il y a suffisamment d’éléments dans le système (dont certains sont redondants), un certain nombre d’éléments faiblement connectés peuvent remplir la même fonction que celle d’un seul élément richement connecté.
* Les interactions elles-mêmes présentent caractéristiques importantes, en particulier, certaines sont non linéaires. Un grand système d’éléments linéaires peut la plupart du temps être réduit à un système équivalent beaucoup plus simple. La non-linéarité signifie que de petites causes peuvent avoir de grands résultats et vice versa. Elle est une condition préalable à la complexité.
* Les interactions ont en général une portée assez courte : les informations sont reçues principalement des éléments voisins. Quelques étapes suffisent habituellement pour parcourir le chemin d’un élément à un autre. L’influence est modulée en cours de route : elle peut être renforcée, supprimée ou modifiée. Des interactions à plus longue portée ne sont pas impossibles, mais les contraintes pratiques limitent cette configuration dans la plupart des cas.
* Il existe des boucles dans les interactions. L’effet de toute activité peut se répercuter sur elle-même, parfois directement, parfois après un certain nombre d’étapes. Cette rétroaction peut être positive (améliorante, amplificatrice, stimulante) ou négative (négative, inhibitrice). Les deux types sont nécessaires. Le terme technique pour cet aspect d’un système complexe est la récurrence.
* Les systèmes complexes sont des systèmes ouverts, c’est-à-dire qu’ils interagissent avec leur environnement. En fait, il est souvent difficile de définir la frontière d’un système complexe. Au lieu d’être une caractéristique du système lui-même, l’étendue du système est déterminée par la manière dont on le décrit : elle dépend de la position de l’observateur. Ce processus s’appelle le cadrage. Les systèmes fermés sont généralement simplement compliqués.
* Les systèmes complexes fonctionnent dans des conditions loin de l’équilibre. Il doit y avoir un flux constant d’énergie (ou d’informations) pour maintenir l’organisation du système et assurer sa survie. L’équilibre est un autre mot pour décrire la mort.
* Les systèmes complexes ont une histoire. Non seulement ils évoluent dans le temps, mais leur passé conditionne leur comportement actuel. Toute analyse d’un système complexe qui ignore la dimension « temps » est incomplète et ne représente qu’un instantané d’un processus continu.
* Chaque élément du système est ignorant des règles du comportement du système entier. Il réagit localement en fonction des seules informations dont il dispose au moment de son action (ce que j’ai appelé rationalité locale). Il ne connaît qu’imparfaitement les effets de ses propres actions. Ce point est d’une importance capitale. Si chaque élément « savait » ce qui se passe dans l’ensemble du système, toute la complexité du système devrait être présente dans cet élément. Cela se heurterait soit à une impossibilité physique (un seul élément ne peut réunir toutes les caractéristiques du système), soit à l’adoption d’une hypothèse métaphysique (la « conscience » de l’ensemble serait contenue dans une unité particulière du système). La complexité est le résultat de la riche interaction d’éléments simples qui ne répondent qu’aux informations limitées qui leur sont présentées. Lorsque nous examinons le comportement d’un système complexe dans son ensemble, notre attention se déplace de l’élément individuel du système à sa structure complexe. La complexité émerge en tant que résultat des interactions entre les éléments.

Les systèmes complexes échappent donc à la conception « réductionniste » qui veut que l’étude des propriétés des parties nous fournisse les clés de la compréhension des propriétés du tout. Ce principe qui est la base classique du raisonnement scientifique depuis Newton, Descartes et Bacon, trouve ici sa limite : le tout n’est pas seulement la somme des parties. Il s’y ajoute les propriétés des interactions entre parties et des transferts d’information entre elles. La discussion sur les systèmes complexes dans le cadre de la sécurité n’est qu’un infime cas particulier de leur irruption dans la science contemporaine.

La complexité est une réponse possible aux défis de l’environnement. Une bactérie simple, Mycoplasma pneumoniae par exemple, dispose de quelques centaines de gènes. Elle ne survit que dans un milieu spécifique et n’a que peu de possibilités d’adaptation. Escherichia coli a dix fois plus de gènes et des capacités d’adaptation incomparablement supérieures : cette bactérie est plus « robuste » face à son environnement, comme l’est une voiture moderne par rapport aux voitures de nos parents ou grands-parents (certains se rappellent la quête des points d’eau dans l’ascension des cols des Alpes, pour remplir les radiateurs dont le contenu s’était évaporé). Cette robustesse se paye toutefois par une nouvelle fragilité : la complexité multiplie les possibilités de pannes ou d’échecs et en fait apparaître des inédits. La robustesse de l’ensemble à des conditions extrêmement changeantes se paye par une fragilité de ses composants, qui sont sensibles eux à des événements parfois infinitésimaux (des rongeurs qui s’attaquent aux gaines isolantes des fils électriques des autos). En d’autres mots, ce système complexe, qui peut s’adapter à des conditions changeantes et extrêmes grâce à sa complexité même, peut être mis en péril par le dysfonctionnement d’un de ses composants pour des causes fortuites et mineures [76]. Une méthode classique de réduction des risques largement utilisée en sécurité informatique est l’ajout de redondances dans un système, de manière à dupliquer les fonctions vitales. L’inconvénient est que ce dispositif ajoute également de la complexité : à quel moment le système de secours se met-il en route, dispose-t-il en temps réel de toutes les données qu’utilisait le système primaire ? Et si le choix porte sur le fait de les faire travailler tout le temps en parallèle pour profiter d’un gain en performance, la dégradation d’un des deux systèmes peut passer inaperçue si la demande en performance est modeste et reste satisfaite. Il faut la panne simultanée des deux pour être certain de sa détection, mais il est trop tard.

L’assimilation des systèmes industriels, des systèmes de santé et du fonctionnement des hôpitaux à des systèmes adaptatifs complexes est réalisée tant par les inventeurs du RE que par ceux des HRO[[3]](#footnote-3). S’y ajoute une dimension de leur variabilité et de leur imprévisibilité qui est la présence humaine, donc une dimension à la fois culturelle, psychologique et sociologique. Un avion par exemple est un système compliqué, mais le fonctionnement de chacune de ses parts et de l’ensemble peut être décrit et compris. L’avion devient un système complexe dès qu’on y ajoute un équipage, sur un aéroport, avec une tour de contrôle et des contrôleurs aériens. Se comprennent-ils toujours, ont-ils les mêmes valeurs, le même comportement face à l’autorité et la même appréhension des problèmes qui se posent ? Parlent-ils la même langue, partagent-ils la même culture : ces interactions ne peuvent être toutes décrites ni leurs conséquences prévues. On parle dès lors de système sociotechnique complexe [73]. Dans de tels systèmes, la « panne » ne peut que rarement s’expliquer par la défaillance d’une partie. Le tout est largement plus riche que la simple somme des parties. Des propriétés nouvelles peuvent apparaître fortuitement, sans que leur émergence ait même été imaginée par leurs concepteurs. La variabilité de ces systèmes est telle que l’opérateur doit sans cesse s’adapter et faire face à des situations qui n’ont pas été complètement prévues, ou pas prévues du tout. Et pourtant le nombre d’accidents est faible par rapport aux réussites, même en situation imprévue. Il est logique dès lors de se pencher sur ces systèmes et d’apprendre des réussites, même et surtout quand ces réussites sont des surprises. L’acharnement à réduire davantage l’occurrence déjà faible des accidents dans un système sécurisé consomme de grandes ressources d’attention de la part des opérateurs au risque pour eux de ne pas en détecter les prémisses [77]. Elle ajoute des règles aux règles, multiplie procédures et barrières avec comme conséquence une complexité plus grande encore et l’apparition de risques nouveaux donc non documentés. Or nous le savons, même si nous n’en tirons pas toutes les conséquences : dans une situation complexe et dangereuse nous dit Hollnagel, si tout se passe bien, c’est grâce à l’intervention à propos d’un opérateur humain, qui ne considère pas que les succès passés garantissent le succès futur, qui remet en doute au jour le jour le niveau de risque de ses opérations, qui imagine des solutions alternatives, qui écoute les avis même (et surtout) minoritaires, et qui encourage les autres à dire haut et fort leur désaccord éventuel. On croirait une définition des HRO… L’aspect cognitiviste des « inventeurs » du Resilience engineering[[4]](#footnote-4) fait que souvent, l’accent est mis sur « l’exécutant » (le sharp end). Cette préoccupation pour le niveau micro plutôt que pour le méso ou le macro est typique des questions étudiées par les psychologues. La vision RE reste toutefois extrêmement pratique avec des aspects « engineering » et le développement d’outils (graphiques) pour représenter le système dans sa complexité avec ses interactions (voir la partie Gestion du risque à paraître en décembre 2022). L’aspect « culture de sécurité » (si on excepte la non-stigmatisation des erreurs) y est par contre assez discret.

Réf. annexe 2 : 71-77

71- Manson SM. Simplifying complexity: a review of complexity theory. Geoforum 2001;32(3):405-414.

72- Cilliers P. Complexity and postmodernism: understanding complex systems. London: Routledge, 1998.

73- Carayon P. Human factors of complex sociotechnical systems. Appl Ergon 2006;37(4):525-535.

74- Erdi P. Complexity explained. Berlin: Springer, 2008.

75- Maruyama M. The second cybernetics: deviation-amplifying mutual causal processes. Am Sci 1963;5(2):164-179.

76- Carlson JM, Doyle J. Complexity and robustness. Proc Natl Acad Sci USA 2002;99(Suppl 1):2538-2545.

77- Amalberti R. Navigating safety. Necessary compromises and trade-offs - Theory and practice. Berlin: Springer, 2013.

1. Du grec kubernêtikê, de kubernân, gouverner. Science de l’action orientée vers un but, fondée sur l’étude des processus de commande et de communication chez les êtres vivants, dans les machines et les systèmes sociologiques et économiques (Larousse). [↑](#footnote-ref-1)
2. Acronyme de COmmon Business Oriented Language qui révèle sa vocation originelle : être un langage commun pour la programmation d’applications de gestion (Wikipédia). [↑](#footnote-ref-2)
3. High Reliability Organization, organisation de haute fiabilité). [↑](#footnote-ref-3)
4. Ingénierie de la résilience, plutôt traduit par ingénierie résiliente. [↑](#footnote-ref-4)