

Avant-propos

Cet ouvrage illustre quelques-unes des notions fondamentales introduites dans l'ouvrage *Architecture système et complexité : apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique* (Printz 2019), mais il peut être lu indépendamment car les études de cas et réflexions présentées ici le sont de façon indépendante et sans référence à des éléments précis de cet ouvrage.

Ce qui est difficile à comprendre dans l'ingénierie de ces systèmes dénommés il n'y a pas encore si longtemps « systèmes complexes » – ce qui est un pléonasma avéré –, est que une fois « intégrés », ils apparaissent comme un *tout* qui est plus que la somme de ses parties ; mais que ce tout rétroagit sur les éléments constitutifs de ces parties, formant ainsi une boucle adaptative qui rend ce tout solidaire de ses éléments quand bien même ceux-ci conservent leur autonomie, d'où la formule « indissociables quoique distincts ».

Le système est défini pour remplir certaines fonctions dans un environnement donné qui constitue le *dehors* du système, par opposition à ses éléments organiques qui constituent le *dedans*. Les deux sont liés, mais le système intégré doit surveiller en permanence son environnement pour s'assurer que ce dernier reste dans les limites qui garantissent son fonctionnement nominal, c'est-à-dire ce qui est attendu de lui en tant que tout.

Dans les opérations de maintenance du système – souvent des décennies de « vie » utile avant le retrait de service inéluctable –, que ce soit la maintenance corrective, de nature ponctuelle ou la maintenance adaptative/évolutive, plus globale, les éléments réapparaissent comme tels, mais il ne faut jamais oublier qu'ils sont constitutifs d'un *tout*.

La présence de ce tout se manifeste par des contraintes qui vont se traduire par des exigences auxquelles ces éléments doivent répondre. La meilleure analogie physique que l'on puisse trouver est celle de grandeurs comme la température d'un corps ou la pression d'un gaz ou d'un liquide, qui sont des grandeurs dites intensives. Dans le langage de l'ingénierie système, ces propriétés intensives « diffuses » dans tous les éléments du système sont parfois qualifiées de non fonctionnelles¹ en ce sens qu'elles ne sont pas définissables par une fonction identifiée comme telle dans un ou plusieurs modules des éléments ; par exemple la performance ou la disponibilité du système qui sont des propriétés globales de l'architecture en tant que tout.

L'architecture est le moyen d'organiser la complexité des systèmes, qu'ils soient naturels, comme ceux que produit la nature, ou artificiels, comme ceux que nous construisons avec les ressources de notre intelligence. C'est ce que d'aucuns appellent parfois dans un curieux néologisme la « simplexité »². C'est la raison qui nous a fait choisir, pour introduire ce volume, un texte de mon collègue le professeur Daniel Krob, président du Centre d'excellence sur l'architecture, le management et l'économie des systèmes (CESAMES), présenté dans le cycle de conférences du Collège de France, texte légèrement remanié pour respecter les contraintes éditoriales ; je l'en remercie très chaleureusement. Il s'intitule *Éléments de systémique – Architecture des systèmes*, ce qui fait une jonction parfaite entre notre précédent ouvrage et ce qui est l'objet de celui-ci.

Les deux premières parties sont essentiellement consacrées à la composante organique des systèmes, c'est-à-dire le ou les lieux dans lesquels le système agit dans la réalité. Pour qu'il puisse agir, il faut qu'en son sein même se trouvent des relais qui permettent de transformer l'intention conceptuelle de l'architecte concepteur du système en action dans la réalité. Les équipements phares de cette transformation sont dénommés par le terme générique de « transducteurs », qui voient le jour de façon massive dans notre environnement dans les affres de la Seconde Guerre mondiale avec la montée en puissance des moyens de communication et de l'électronique. Les transducteurs, comme il sera expliqué, sont des convertisseurs d'énergie qu'ils ont, à l'occasion de cette transformation, la capacité d'amplifier fidèlement dans des proportions qui peuvent dépasser le million, comme l'ouverture d'une vanne d'un barrage hydroélectrique ou la commande des barres de contrôle d'un réacteur nucléaire. Ils peuvent être des microscopes géants comme le LHC du CERN à Genève.

1. Voir par exemple https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_9126 et les normes ISO/IEC 25010:2011 *Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models* dont nous avons souligné l'importance dans nos ouvrages précédents.

2. Voir, dans la collection Les Conférences du Collège de France, le volume *Complexité-simplicité*, d'Alain Berthoz et Jean-Luc Petit (dir.), et le livre *La Simplexité* (2009) d'Alain Bertoz.

La conséquence de l'usage de ces équipements est qu'ils vont faire se propager dans le monde idéalisé de la conception logique du système toute la complexité du monde réel et de ses aléas. Ce fut le défi principal relevé par les pères fondateurs de la cybernétique, von Neumann, Shannon et Wiener. Au départ, fort peu pensaient que l'obstacle allait pouvoir être surmonté, mais il le fut, d'où l'importance d'une compréhension en profondeur de la complexité inhérente du monde réel, parfaitement perçue comme primordiale par von Neumann. D'où les chapitres consacrés à la complexité, non pas sous l'angle de la complexité théorique, par ailleurs fondamentale, mais sous l'angle de la complexité dans le vécu quotidien des ingénieurs concepteurs et réalisateurs de ces systèmes, complexité qui se traduit très concrètement par un coût énergétique de vérification et de validation, pour garantir le contrat de service du système résultant des exigences de ses usagers.

Ces notions seront illustrées par deux études de cas ; la première concerne le système électrique français que nous avons eu la chance de connaître de l'intérieur, et la seconde le système projet, un système essentiellement humain, mais sans lequel aucun des systèmes artificiels qui sont l'objet de ce volume et du précédent n'aurait pu voir le jour. Le système projet est dans une relation de complémentarité avec le système technique, qui doit être le résultat de son action. Ces deux systèmes sont distincts, mais indissociables l'un de l'autre.

Tous les systèmes dont il est question dans cet ouvrage sont des systèmes artificiels. Nous nous sommes efforcés, tant mon collègue D. Krob que moi-même, à ne jamais évoquer une « explication » venant de systèmes qui nous sont beaucoup moins compréhensibles que ceux que nous avons nous-mêmes construits. Cependant, les points de contacts sont nombreux, ne serait-ce que la complexité.

Dans la décennie 1990, les systèmes artificiels ont franchi une étape dans leur montée en complexité. Von Neumann, dès les années de fondation, était bien conscient des limites de la centralisation des systèmes d'alors ; son slogan était « qui garde les gardiens ? », car tout « centre » est un point faible. Mais dans les années 1990, la centralisation inhérente aux premiers *mainframes* explose avec l'arrivée des systèmes distribués dans des architectures dites clients-serveurs. Le « centre » disparaît, ou plutôt, il est partout. De plus, leur intégration avec l'environnement qui les a fait émerger du néant est de plus en plus étroite. Leur survie en termes de contrat de service pour ceux qui les utilisent – c'est-à-dire nous tous – nécessite en leur sein même une image opérationnelle réaliste de cet environnement qui est le siège d'aléas imprévisibles. Les systèmes artificiels commencent à développer une étrange ressemblance avec les systèmes vivants, qui eux sont totalement intégrés dans leur environnement.

C'est pourquoi nous proposons de conclure cet ouvrage sous la forme d'un dialogue entre nous-mêmes et une autorité incontestable de l'un des systèmes les plus emblématiques du monde vivant, le système immunitaire, sans lequel nous ne saurions survivre : Philippe Kourilsky, Professeur émérite du Collège de France, membre de l'Académie des sciences, directeur général honoraire de l'Institut Pasteur. Pour vivre, nous dit-il, « il faut d'abord survivre ». Il est l'auteur de nombreux ouvrages dont *Le jeu du hasard et de la complexité* (Kourilsky 2014), qui jette des ponts entre l'ingénierie biologique et l'ingénierie des ingénieurs. « Vivre **et** survivre », une boucle systémique entre deux notions distinctes mais indissociables, telle sera notre conclusion.

Je profite de cet avant-propos pour remercier sincèrement mes deux collègues Philippe Kourilsky et Daniel Krob pour le temps qu'ils ont bien voulu me consacrer à l'occasion de nombreuses discussions suscitées par cet ouvrage et le précédent.