HAL
open science

Intégration des savoirs et préservation des spécificités

Rémi Nazin

To cite this version:

Rémi Nazin. Intégration des savoirs et préservation des spécificités. Journée Internationale des Jeunes Chercheurs 2016, École Doctorale Stanislas (Langage, Temps, Société), Jun 2016, Nancy, France. hal-01718230

HAL Id: hal-01718230

https://inria.hal.science/hal-01718230v1

Submitted on 27 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Intégration des savoirs et préservation des spécificités

Rémi Nazin – Doctorant en Ergonomie[1]
Université de Lorraine (PERSEUS) / LORIA (Equipe MOSEL)

Résumé :

La nécessité de faire cohabiter les savoirs issus de méthodes et traditions différentes constitue l'enjeu majeur de l'innovation scientifique depuis l'invention de la science moderne. Au-delà de cette hétérogénéité des données se pose le problème de leur interprétation, que l'on a longtemps cherché à résoudre à travers le réductionnisme, qui consiste à considérer un ensemble théorique comme faisant partie intégrante d'un autre ensemble que l'on maîtrise.

Cela ne saurait se faire sans perte ou, à tout le moins, sans déformation. Si elle peut se révéler pertinente dans certains cas, sitôt que l'on considère celui de sciences véritablement indépendantes, la méthode devient vite problématique. Considérons par exemple la technologie et la psychologie : la réduction amène à penser le cerveau comme un analogue de l'ordinateur. L'expérience nous montre toutefois que cette idée est proprement fausse, ce qui impose alors d'envisager une autre manière de faire dialoguer les savoirs sans les dénaturer.

Prise comme méthode en épistémologie, l'intégration repose sur l'établissement d'une hyperthéorie. Cette *via media* doit se construire en analysant les concepts centraux de chaque science ainsi que les principes qui les mettent en relation. En prenant pour principes de cette hyperthéorie les règles de projection d'un domaine à l'autre, il devient possible d'établir une réelle transdisciplinarité.

L'autre intérêt majeur de ce mode de pensée réside dans son universalité. Dans la mesure où elle repose sur un métalangage, il est possible d'envisager l'intégration conjointe de divers ensembles théoriques, mais il devient surtout possible de développer des moyens objectifs, de comparer différentes positions au sujet d'un problème donné et, par là même, d'en rendre l'application plus sûre.

Cette validation "par construction" des ensembles théoriques trouve tout son sens lorsque l'on s'attaque aux problèmes posés par la convergence des techniques NBIC (Nanotechnologies, biotechnologies, informatique et sciences cognitives), dans la mesure où ces dernières sont issues de sciences fondamentalement différentes les unes des autres. A travers le problème de la conception des systèmes Homme-Machine, on analysera comment il est possible de conceptualiser l'humain et le technique par les deux notions d'intégration et de système.

Mots-clés : *ergonomie, intégration, hyperthéorie, NBIC, MTIP*

[1] Titulaire d'une bourse de la Direction Générale de l'Armement.

Abstract :

The need to combine the knowledges derived from various intellectual methods and traditions is the major challenge of scientific innovation since the birth of modern science. Beyond the problem of the heterogeneous knowledge, there is also the difficulty of their interpretation, whose resolution has for long been sought through reductionism, that is to say, through making a particular theoretical system an integral part of another system that one better skills.

But integration cannot happen without any loss or, at the very least, without any distortion. If it can be relevant in specific cases, as soon as the case of genuinely independent sciences comes forth, this method quickly become problematic. Regarding for instance technology and psychology, reduction method brings us to count the brain as analogous to the computer. But experience shows that this idea is false, which brings us to consider another way to allow the dialogue between knowledge without misrepresent them.

As a method used in epistemology, integration is based on the establishment of a hypertheory. This *via media* aims to be opened through the analysis of main concepts which stemmed from each science and of the principles which link those concepts as well. If one starts with the premise of this hypertheory as projection from a field to another, it becomes possible to set up an authentic transdisciplinarity.

The other major interest of this way of thinking is its universality. Since it is based on a metalanguage, one can consider the joint integration of various theoretical systems, but one can also acquire effective tools, compare various positions concerning a specific problem to each other and hence take a more effective and secure action.

The confirmation of the theoretical systems “through construction” finds its full meaning when applied to the specific problems of the convergence of NBIC techniques (Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science), as those techniques stem from sciences which fundamentally differ from another. Considering the specific problem of the human-machine system design, this paper aims to analyze the possibility to conceptualize the human element and the technical element through both notions of integration and system.

Keywords : *ergonomics, integration, hypertheory, NBIC, MTIP*

Introduction

Ce qui caractérise les futurs programmes d'exploration spatiale est l'exacerbation des problématiques de prise en charge des risques opérationnels liés au comportement ou, plus simplement, à la performance humaine. Ces problèmes incluent tant les effets pathogènes des missions de longue durée que l'impact de l'apesanteur sur les capacités motrices et cognitives conduisant à des modifications de la réalisation des tâches[2].

Cette constatation impose de penser à nouveaux frais la relation entre l'humain et les dispositifs techniques qui composent son environnement dans un contexte de profonde dépendance.

Ce que l'on appellera dans la suite de cet article complexe anthropotechnique est ce qui résulte de la mise en relation d'un ou plusieurs êtres humains avec un ou plusieurs objets techniques. Ainsi dans l'exemple de l'exploration spatiale, plusieurs complexes anthropotechniques sont mis en œuvre : le complexe véhicule-équipage, le contrôle opérationnel et l'ensemble des agences spatiales impliquées, pour n'en citer que quelques-uns. Le complexe ou système[3] véhicule-équipage concentrera notre attention dans cet article. En tant que système, il est à la fois complexe, hétérogène, et il présente de manière paradigmatique les problématiques posées par le développement des nouvelles techniques liées à l'automatisation telles qu'on les retrouve également dans le domaine aéronautique, médical ou automobile.

En effet, en raison de la durée extrêmement longue d'une mission d'exploration telle qu'un voyage vers Mars, le risque critique dû à l'erreur humaine devient considérable. Pour pallier à cela, l'automatisation prendra, comme en avionique, une place de plus en plus conséquente afin de parvenir à une amélioration conjointe de la performance et de la sécurité à travers ce que l'on appelle support opérationnel.

De plus, ces systèmes d'exploration spatiale présentent une problématique intéressante dans la mesure où l'environnement rend nécessaire la mise en place d'un support-vie permettant la pérennité de la mission. Dès lors, concevoir un véhicule spatial pourrait être vu de façon assez naïve comme la recherche d'un compromis adéquat entre support-vie et support opérationnel, ce qui serait une erreur en raison du caractère critique[4] du système. Si l'on veut progresser de

[2] Sur ces sujets, voir (NASA 2016).
[3] Dans le sens défini par (Bertalanffy 1968).
[4] Système pour lequel une défaillance est susceptible d'entraîner la mort, cf. (Knight 2002).

front sur ces deux problématiques, il convient de réformer notre vision des complexes anthropotechniques pour remplacer la dialectique opérateur/machine, déterminée par un ensemble d'interactions, par une intégration système-système dont l'une des parties est vivante et l'autre est technique.

Réduction et intégration

La première manière de considérer de manière systémique la relation possible de l'humain et de la machine a été la tentative de comprendre le corps comme une machine par (Descartes 1637) et (La Mettrie 1748). Ce modèle de la biologie trouve, comme tout énoncé scientifique, sa pertinence dans les besoins auxquels il répond et, s'il est demeuré pertinent tant que l'on s'intéressait exclusivement à des problèmes mécaniques, il est devenu problématique sitôt que l'on s'est confronté à des problèmes de biologie cellulaire, tels que les effets de la gravité sur la croissance osseuse.

De manière similaire, la métaphore du cerveau-ordinateur portée par exemple par (Fodor 1975), si elle se révèle intéressante d'un point de vue didactique, se révèle handicapante lorsque l'on compare le fonctionnement réel de ces deux objets notamment en raison du fonctionnement continu du cerveau qui ne correspond en rien à celui, séquentiel, d'une machine de Turing.

On voit bien ici comment la première étape de la connaissance scientifique est de tenter d'expliquer un phénomène complexe par un phénomène bien connu et bien formalisé, ce que l'on appelle réduction et comment cette réduction se révèle caduque en raison de nouveaux besoins ou de nouvelles observations.

L'état actuel des connaissances nous oblige à considérer que le corps humain n'est pas réductible à ses propriétés mécaniques, ni l'esprit à ses propriétés logiques. Il nous est par conséquent impossible de profiter des parallélismes autrefois offerts par les anthropologies réductionnistes que nous avons vues.

Dès lors, comment concilier le design, connaissance basée sur les modèles et la biologie humaine, fondée sur des preuves expérimentales ? Si l'on en revient à la notion de complexe anthropotechnique comme système de systèmes, on se trouve en position de le considérer lui-même comme un système et, par voie, de l'analyser en tant que tel. On ne considère dorénavant plus deux systèmes fermés en interaction, mais un système unique en situation d'utilisation.

Il s'agit là d'une façon de définir ce que nous nommons une conception intégrative des complexes anthropotechniques.

Construction d'un langage

Ne serait-ce que changer notre manière de regarder l'anthropotechnique est un premier pas, mais cela ne change pas le fait que l'humain et le technique soient deux domaines fondamentalement différents. Comprendre comment se fait l'intégration demeure nécessaire à l'établissement des différents couplages que l'on veut réaliser et contrôler dans l'évolution du système total.

Sachant qu'on ne peut réduire l'humain à la machine, ni la machine à l'humain, il est nécessaire de disposer de moyens de passage du modèle technique au modèle biologique, ce qui impose l'utilisation d'un métalangage adapté, c'est-à-dire d'un métalangage qui permette une description conjointe de ces modèles ainsi que la construction de classes d'équivalences entre les deux.

En raison de notre connaissance basée sur les modèles dans les systèmes techniques, les mathématiques sont un candidat naturel pour ce rôle, mais encore faut-il qu'il fût possible d'établir une théorie mathématique de la biologie. Si la cybernétique échoue à répondre à nos exigences dans la mesure où elle réduit le vivant à des systèmes thermodynamiques fermés, ce qui a été invalidé par (Prigogine 1955), la théorie mathématique de la physiologie intégrative[5] de Gilbert Chauvet se trouve être satisfaisante à ce niveau.

Mathematical Theory of Integrative Physiology

(Chauvet 1993; Chauvet 1993b; Chauvet 1993c) décrivent le cœur de ce que Chauvet nommait lui-même Physiologie Intégrative. Cette théorisation de la biologie a été volontairement structurée sur une mathématisation des phénomènes biologiques, selon un mode de pensée dont la spécificité est considérable en cela qu'il n'est pas question de repenser la biologie sur la base d'une physique mathématique quelconque, mais de tenter de reproduire la démarche de mathématisation de la physique dans le domaine de la biologie. Il n'est donc pas question de reproduire ou de construire des analogies de ressemblance, mais

[5] Abrégé en MTIP pour Mathematical Theory of Integrative Physiology dans la suite de l'article.

d'établir un ensemble axiomatique original permettant de décrire différents phénomènes et leurs évolutions, en accord avec la physique, tout en préservant leur spécificité.

Ce qui distingue un système biologique d'un autre système physique est principalement son mode d'organisation; un système biologique est organisé selon le Principe d'Auto-Association Stabilisatrice (PAAS) qui décrit comment deux structures physiques, en s'associant, vont créer une structure possédant un plus grand domaine de stabilité que ses composantes isolées[6]. Ce que l'on appelle domaine de stabilité mesure ici la capacité d'un système à retourner à un état proche de son état initial après une perturbation ; plus ce domaine est grand, plus le système pourra subir une perturbation importante sans être détruit.

Ce n'est pas en devenant plus complexe de manière anarchique qu'un système biologique devient plus robuste, mais c'est parce qu'il tend à se hiérarchiser au cours de cette complexification. Parler de « système complexe » relève de l'abus de langage dans la mesure où il y a complexité, dès que l'on peut trouver interaction entre parties. Il y a par contre deux types de systèmes, les systèmes plats et les systèmes hiérarchiques. On trouve des systèmes plats en physique, les cristaux en fournissent un bon exemple dans la mesure où ils sont construits par reproduction plus ou moins altérée d'une forme et sont constitués des mêmes éléments chimiques. Un système hiérarchisé est un système que l'on peut décrire par une arborescence et dont on peut grouper certains sous-systèmes, ce qui permet de définir ses niveaux d'organisation[7].

Ces niveaux d'organisation sont eux-mêmes composés de ce que l'on nomme unités structurales – sous-systèmes susceptibles d'interagir avec d'autres sous-systèmes. À ce titre, Chauvet opère une redéfinition de l'élément de base de la biologie dans la mesure où l'on ne considère plus la cellule comme une chose individuée, dotée de sa propre autonomie d'action sur une analogie avec les personnes, mais comme le lieu d'un ensemble d'interactions physico-chimiques. Ainsi, la biologie n'est plus l'affaire de choses agissant sur des choses, mais d'ensembles hiérarchisés d'événements susceptibles d'interagir avec d'autres ensembles d'événements, ce qui oblige à repenser la notion même d'interaction non plus sur une base téléologique, mais comme les événements concourant à l'équifinalité[8] du système.

---

[6] *A contrario*, un système physique tend à réduire son domaine de stabilité lorsqu'il se complexifie.

[7] Par exemple : les cellules, groupes de cellules, organes, systèmes physiologiques (respiratoire, digestif, etc.) dans le vivant.

[8] Ce que l'on appelle équifinalité avec (Bertalanffy 1968) est la propriété de certains systèmes de passer d'un état de départ donné à un état final donné en adoptant diverses évolutions possibles.

Les systèmes biologiques sont donc organisés et fonctionnent de manière différente des autres systèmes physiques. Cette affirmation couplée à une formalisation mathématique est intéressante, mais ne dispose toujours pas de la capacité que l'on recherche, c'est-à-dire celle de nous offrir un moyen de comprendre comment décrire l'évolution de ces systèmes de façon à pouvoir influer sur elle. En d'autres termes, ce qu'il faut à ce stade est une compréhension et une formalisation des « forces » qui animent le vivant et qui soient compatibles avec celles qui animent l'inerte.

Comme on l'a vu, il existe un niveau minimal des unités structurales de la biologie qui sont certaines réactions physico-chimiques. Si les systèmes vivants ont une structure et une évolution différente des systèmes physiques, les principes qui régissent cette évolution ne peuvent être eux-mêmes exclusivement physiques, et c'est un élément différent ou supplémentaire qui permet leur existence. On a longtemps cherché, avec le vitalisme, à expliquer ce paradoxe par l'invocation d'un principe irréductible et pour le moins insaisissable qui serait la vie elle-même. Si cette position a un fort intérêt dans la mesure où elle permet à moindre frais de résoudre les problèmes de la relation entre corps et esprit dans la philosophie elle n'est que de peu de secours dans la biologie en raison de la pétition de principe qu'elle engendre.

Chauvet a théorisé, entre autres dans (Chauvet 1995) qui octroie une synthèse et une conceptualisation de MTIP, dans la continuité de sa définition du système vivant comme ensemble hiérarchisé de réactions physico-chimiques, un second principe fondateur qui est celui de l'interaction fonctionnelle. On l'a vu, l'interaction est l'action d'une structure sur une autre. Ce qui caractérise l'interaction fonctionnelle, ce sont ses propriétés mathématiques qui la distinguent des autres interactions de la physique. Ces deux propriétés de non-localité et de non-symétrie résultent de l'organisation hiérarchique des systèmes vivants.

On nomme interaction non-locale une interaction à distance entre deux systèmes ; dans la physiologie, cette interaction non-locale est médiatisée par des éléments physico-chimiques plus ou moins complexes, comme les ions ou certaines molécules. Ce caractère non-local de l'interaction fonctionnelle s'accompagne d'une non-symétrie, en cela qu'elle n'est pas réciproque, contrairement aux interactions physiques.

Ainsi, en biologie, l'interaction entre deux unités structurelles s'effectue par le déplacement d'un objet physico-chimique d'un lieu vers un autre à travers différents niveaux de hiérarchie. Dès lors, elle possède une propriété importante, qui est son caractère « indirect ». En effet, si l'interaction fonctionnelle n'est pas une action à distance directe d'un objet sur un autre,

celle-ci ne peut être considérée comme étant dirigée par un émetteur vers un transmetteur. Cela implique que les unités structurelles des systèmes biologiques ne peuvent être considérées de cette manière, mais qu'elles peuvent occuper deux rôles que l'on nomme source et puits.

Le remplacement du couple émetteur/récepteur par le couple source/puits permet de sortir avantageusement du problème fondamental de la cybernétique, qui est celui du canal d'information. En effet, il est difficile d'envisager l'action à distance d'un objet sur un autre sans que la direction de cette action ne soit déterminée par un canal. Le principal problème de cette vision de l'interaction est le fait que le déplacement des ions et molécules, qui médiatisent l'interaction, se fait au travers de discontinuité structurelles[9] qui ne peuvent être déterminées par l'émetteur ou le récepteur puisqu'elles n'appartiennent pas à un niveau de hiérarchie que leur est subordonné. Dès lors, la téléologie contenue dans la définition même du couple émetteur/récepteur ne peut plus tenir et il faut lui trouver une alternative. On appelle ainsi « source » la structure qui va émettre l'interaction fonctionnelle et « puits » celle qui va la recevoir. La relation source-puits et le chemin parcouru par l'interaction fonctionnelle est alors une donnée du système qui se situe à un niveau de hiérarchie plus élevé que celui du couple source/puits.

Si l'on s'intéresse à la causalité interne dans le système, cette conclusion est importante car elle permet de renoncer à l'idée de téléologie dans un système vivant qui est problématique à bien des égards, notamment en cela qu'elle oblige à considérer les systèmes vivants comme des systèmes se comportant comme des systèmes techniques qui n'auraient pas de concepteur[10].

Il faut donc réformer notre vision de la causalité pour remplacer la téléologie par une causalité événementielle, c'est-à-dire comme une relation due seulement à l'existence d'un événement. Ainsi l'action à distance d'un organe sur un autre par l'intermédiaire d'une protéine n'est-elle pas une propriété de l'un ou l'autre de ces organes, mais est permise par une série d'événements mettant en relation le comportement de chacun de ces organes, ces événements étant indépendants d'eux.

Système et Fonction

[9] C'est-à-dire qu'elles se déplacent à travers les différents niveaux de hiérarchie du système.
[10] A moins de se placer dans une optique d'« intelligent design », ce qui n'est pas une hypothèse scientifique sérieuse.

On dispose à ce stade d'un formalisme mathématique et d'une théorie qui nous permettent de comprendre et modéliser les systèmes vivants grâce à la MTIP. Cela ne représente qu'une partie de la tâche dans la mesure où ce que l'on cherche à obtenir est une manière d'effectuer une conversion des modèles vivants aux modèles techniques.

Comme on l'a vu, il existe une très nette spécificité du vivant par rapport au physique. Ce qui distingue un système technique d'autres systèmes physiques, c'est qu'il est organisé de manière à accomplir un ensemble de fonctions (Simondon 1958). Une fonction étant ce qui fait passer tout ou partie d'un système d'un état à un autre et, comme on l'a vu, les interactions fonctionnelles possédant le statut d'opérateurs de causalité dans le vivant, on peut définir une fonction biologique comme l'ensemble des interactions fonctionnelles qui régissent l'évolution d'une unité structurelle.

On se trouve donc ici en mesure d'adopter une interprétation schématique de ces deux types de système à travers l'ingénierie des exigences comme décrit dans (Fass 2012), voir Figure 1.

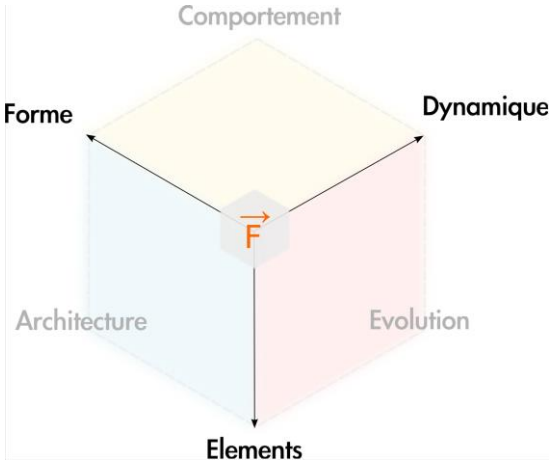

Figure 1 : Définition générale d'un objet par ses dimensions d'exigences et de spécifications :le système générique (Fass 2012)

Dans la Figure 1, en noir sont représentées les exigences et en gris les spécifications. On peut voir que les spécifications sont produites par l'intersection des exigences et que la fonction est obtenue à partir du comportement global du système. On définit ainsi un système technique dans la mesure où l'on envisage un ensemble de fonctions répondants à des besoins et que l'on conçoit le système en architecturant ces fonctions. On définira un système biologique selon la dynamique inverse en cela que les exigences vont découler des spécifications, conformément à la théorie de l'évolution.

Cette formalisation du système trouve son intérêt en ce qu'elle permet de considérer le vivant et la technique à travers un lexique et une théorisation uniques. De plus, elle est accréditée par la notion simondonienne de concrétisation (Simondon 1958), laquelle affirme que l'objet technique abouti par la production industrielle tend à adopter certaines propriétés semblables à l'objet naturel en raison du rapport quasi-optimal entre forme et causalité qui le caractérise.

Ainsi, de la même manière que la MTIP permet une compréhension *bottom-up* des systèmes biologiques, cette approche permet d'envisager la compréhension des complexes anthropotechniques à travers les interrelations qui s'établissent entre les systèmes qui les constituent. On retrouve alors la définition de l'intégration vue plus tôt dans cet article.

Conclusion

Au travers de l'exemple que fournit la MTIP, on a vu comment il était possible, à partir d'un formalisme mathématique et d'une compréhension non réductionniste de la réalité biologique, de construire une théorie explicative du fonctionnement du vivant. Cette théorie se fonde dans la physique et la chimie, qui en fournissent les phénomènes élémentaires, sans qu'il ne soit toutefois besoin de considérer la biologie comme une discipline filiale de ces dernières.

Cela est permis par l'adoption de l'analyse intégrative faite à la fois par Chauvet et Fass, qui permet de conceptualiser l'existence de niveaux d'échelle spatiale dans lesquelles on retrouve certaines organisations et certains principes spécifiques. Ce mode de pensée particulier nécessite, pour répondre à des besoins comme ceux de l'exploration spatiale, plus qu'une simple pluridisciplinarité ou transdisciplinarité s'il veut trouver sa plein pertinence.

Ce que nous fournissent les mathématiques ou les modèles formels n'est pas, comme le pensaient certains positivistes logiques, une meilleure langue débarrassée de la polysémie et de l'erreur, mais la condition de possibilité d'ensembles hyperthéoriques. Ce que l'on appelle dans le cadre intégratif une hyperthéorie, et dont le système générique de Fass (Fass 2012) fournit un bon exemple, est la formalisation[11] de plusieurs ensembles théoriques d'une manière qui permette de construire un métalangage commun aux deux ensembles sans qu'il ne soit possible de les réduire l'un à l'autre.

Pour parvenir à cela, au-delà des « Sciences de la Nature », il est nécessaire de faire en sorte qu'un dialogue soit possible, c'est-à-dire que les ontologies et les conceptions qui conditionnent la pratique des chercheurs et ingénieurs soient intercompatibles. Dans (Nazin et

[11] Mathématique ou non.

Fass 2015), nous avons montré à travers une démarche d'épistémologie expérimentale que les différentes anthropologies [12] sous-tendant la pratique scientifique, bien qu'elles fussent incompatibles entre elles, ne peuvent pas être distinguées sur la base des champs de spécialité des sujets interrogés.

Ainsi, et bien que la position intégrativiste que nous développons tende à accréditer certaines théories plutôt que d'autres, les conditions pratiques d'une hyperdisciplinarité autour de l'étude des systèmes anthropotechniques semblent déjà réunies pour l'accomplissement de ce programme.

Posséder les outils de formalisation des systèmes humains passe par la capacité de modélisation des phénomènes biologiques, sociaux ou encore psychologiques qui conditionnent la condition humaine. Cela permettra d'aller plus loin dans la co-modélisation de l'humain et de la machine en créant des outils composites de modélisation et de simulation pour le design de dispositifs techniques comme MIDAS[13] qui sont actuellement construits de façon à intégrer différents modules dont la compatibilité croisée n'est pas nécessairement formellement prouvée.

Ainsi, si l'on veut concevoir le complexe véhicule-équipage en adoptant une démarche intégrative, il est nécessaire de comprendre sur une même base théorique comment les conditions de vie dans l'espace (que cela soit au plan physiologique, psychologique ou social) vont impacter la santé de l'équipage et comprendre comment celui-ci va s'adapter (de la même manière, cela sera entre autres psychologique, physiologique ou social) à ces conditions. Sans cela, il est impossible de concevoir « pour l'espace » car la différence d'environnement engendre nécessairement une profonde redéfinition du système et donc de ses parties.

La valeur de l'intégration et de la co-modélisation se trouve dans le fait qu'elles permettent d'envisager et d'anticiper ces phénomènes d'adaptation qui sont *top-down* pour certains et *bottom-up* pour d'autres, si l'on se place au niveau de l'équipage, et qui contribuent à l'immense complexité de ce type de systèmes. Dès lors, les dimensions support-vie et support-opérationnel ne sont plus les deux ensembles distincts et parfois antagonistes d'interactions entre l'équipage et deux systèmes cloisonnés, mais elles doivent être considérées comme des fonctions du système intégré véhicule-équipage.

[12] Ensembles de propositions contribuant à répondre à la question : « Qu'est-ce que l'humain ? ».
[13] Man–machine integration design and analysis system. A ce sujet voir (Gore 2011).

Toutefois, pour que cette démarche puisse exister et produire des outils efficaces, il est nécessaire de prendre conscience qu'il n'est pas, par exemple, de physiologie possible sans physique, ni de psychologie sans biologie, ou encore de sociologie sans psychologie, simplement parce que les phénomènes observables à un niveau d'échelle ne le sont que parce qu'il se passe quelque chose aux niveaux supérieurs et inférieurs.

Par conséquent, collaborer en juxtaposant des savoirs ne suffit pas à créer une connaissance utile de la réalité ; il faut pour cela comprendre que les barrières entre disciplines sont en vérité artificielles et poreuses, elles n'appellent qu'à être dépassées en raison de la continuité nécessaire entre les sciences, qui repose sur l'absence de distinction entre nature et culture autre que dans notre manière de les observer.

Bibliographie

VON BERTALANFFY, Ludwig (1968). *General System Theory*. New York: Georges Braziller.

CHAUVET, Gilbert (1993). “Hierarchical functional organization of formal biological systems: a dynamical approach. I. The increase of complexity by self-association increases the domain of stability of a biological system”. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B: Biological Sciences 339.1290, pp. 425–444.

— (1993b). “Hierarchical functional organization of formal biological systems: a dynamical approach. II. The concept of non-symmetry leads to a criterion of evolution deduced from an optimum principle of the (O-FBS) sub-system”. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B: Biological Sciences 339.1290, pp. 445–461.

— (1993c). “Hierarchical functional organization of formal biological systems: a dynamical approach. III. The concept of non-locality leads to a field theory describing the dynamics at each level of organization of the (D-FBS) sub-system”. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B: Biological Sciences 339.1290, pp. 463–481.

— (1995). *La vie dans la matière : le rôle de l’espace en biologie*. Paris : Flammarion.

DESCARTES, René (1637). *Discours de la Méthode*. Voir *Discours de la Méthode*. Paris : Garnier Flammarion, 2016.

FASS, Didier (2012). “Augmented Human Engineering: A Theoretical and Experimental Approach to Human Systems Integration”. In: Boris Cogan. *Systems Engineering - Practice and Theory* (pp. 257-276). InTech Open Access Publisher.

FODOR, Jerry A (1975). *The language of thought*. Harvard University Press.

GORE, B. F. (2011). Man–machine integration design and analysis system (MIDAS) v5: Augmentations, motivations, and directions for aeronautics applications. In *Human modelling in assisted transportation* (pp. 43-54). Springer Milan.

SIMONDON, Gilbert (1958). *Du mode d’existence des objets techniques*. Paris, Aubier.

KNIGHT, John C (2002). “Safety critical systems: challenges and directions”. In: *ICSE’02. Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering* (pp. 547–550). IEEE.

LA METTRIE, Julien Offray de (1748). *L’Homme Machine*. Voir *L’homme-Machine*. Paris : Folio Essais, 1999.

NASA (2016). *Evidence Report: Risk of Adverse Cognitive or Behavioral Conditions and Psychiatric Disorders*. Consultable à l’adresse suivante : https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/bmed.pdf.

NAZIN, Rémi et Didier FASS (2015). « Human Machine Epistemology Survey ». In : Vincent G. Duffy (dir.). *Digital Human Modeling Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management : Human Modeling. 6th International Conference, DHM2015, Held as part of HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015, Proceedings, Part I* (pp. 345-356). Springer International Publishing Switzerland.

PRIGOGINE, Ilya (1955). *Thermodynamics of irreversible processes*. Charles C. Thomas.