



HAL
open science

L'innovation par l'hybridation

Gilbert Giacomoni, Rémi Jardat

► **To cite this version:**

| Gilbert Giacomoni, Rémi Jardat. L'innovation par l'hybridation. 2013. hal-00786648v1

HAL Id: hal-00786648

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-00786648v1>

Preprint submitted on 9 Feb 2013 (v1), last revised 14 Sep 2013 (v5)

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.

L'innovation par l'hybridation

Gilbert Giacomoni

IRG - Université Paris 12 (UPEC) CGS □ Chaire TMCI (FIMMM) - Mines ParisTech
61, Avenue de Général de Gaulle, 94010 Créteil 60, Boulevard Saint-Michel, 75006 Paris
gilbert.giacomoni@u-pec.fr gilbert.giacomoni@mines-paristech.fr

Rémi Jardat

Directeur de la recherche (HDR) □ ISTECH
12, Rue Alexandre Parodi, 75010 Paris
Chercheur associé □ CNAM LIRSA EA CNRS n°4633, PARIS
r.jardat@istec.fr

Résumé: D'après l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle et l'Organisation Mondiale du Commerce, un élément de nouveauté inclut des caractéristiques nouvelles ne faisant pas partie du fond de connaissances existantes dans le domaine technique considéré. Nous partons de l'idée qu'un concept d'objet, de procédés, d'organisations ou de marchés est novateur quand il y a survenance d'un processus d'hybridation de fonds de connaissances jusque-là indépendants à l'issue duquel, de nouvelles identités émergent sur un nouveau fond de connaissance. Nous proposons une théorie générale pour concevoir de telles hybridations au cours d'un processus d'exploration sélective impliquant la rationalité, l'imaginaire, la mémoire, l'analogie et la réflexivité.

Mots clés: innovation, invention, création, conception, mémoire, imaginaire, hybridation, analogie, réflexivité,

Abstract: According to the World Intellectual Property Organization and World Trade Organization, a novelty item includes new features that are not part of the background of existing knowledge in the technical field. We start from the idea that the concept of object, processes, organizations or markets, is innovative when there is an occurrence of a hybridizing-process of previously independent knowledge backgrounds, after which, new identities emerge on a new unique one. We propose a general theory to design such hybridizations of knowledge backgrounds, during an exploration process involving selective rationality, imagination, memory, analogy and reflexivity.

Keywords: innovation, invention, creation, design, memory, imaginary, hybridization, analogy, reflexivity,

Introduction

La Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement (WCED), dite « Commission Brundtland », a défini comme « durable » « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (1987). Cette définition a été officialisée au Sommet de la Terre à Rio en 1992 en prenant appui sur trois piliers: un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable. L'établissement de nouvelles relations entre le milieu naturel et l'homme s'est déjà produit par le passé, par exemple à la suite du réchauffement de l'Holocène (de Beaune, 2012). Il transforme tous les domaines de la vie. Il concerne les individus, les entreprises, les pouvoirs publics, la société civile, les parties prenantes en général. Ces collectifs peuvent y voir une contrainte (devoir, obligation, demande) s'ajoutant à d'autres déjà pesantes: sécurité (santé publique, protection des biens et des personnes, etc.), efficacité (économique, publique, etc.), droit (social, travail, etc.), etc. Mais comment peuvent-ils y voir, même si cela semble contradictoire, une opportunité (performance, différenciation) plus qu'une contrainte ? Sinon en reconcevant de manière innovante, ce qui fondamentalement les caractérise ou les différencie : leurs produits, leurs procédés, leur organisation, leurs savoirs, leurs marchés, etc. ?

L'innovation est, du point de vue de l'histoire des techniques, de l'économie ou de la gestion, le processus qui conduit la conception d'une idée, d'un comportement ou d'un objet nouveau à son acceptation et à son application généralisée (de Beaune, 2012; Thuderoz, 2004). En nous intéressant aux mécanismes par lesquels un collectif humain organisé peut reconcevoir de nouvelles relations « durables » avec son environnement, nous cherchons à comprendre la transformation d'un état du développement considéré initialement comme « non (entièrement) durable » par un collectif humain, à un état reconnu finalement comme « durable » par un collectif plus élargi (puisqu'il concerne tout le monde y compris le futur). Les collectifs d'acteurs réunissent et intersectent leurs points de vue, leur fond de connaissance et leurs contraintes au fil du processus, au terme duquel, l'état final est supposé présenter des propriétés d'équité, de soutenabilité ou d'efficacité économique, se conjuguant avec des propriétés originelles des produits, procédés, organisations, marchés, (etc.), toujours reconnaissables, mais dans une nouvelle cohérence, plus générale, où l'identité¹ des objets (procédés, etc.) et des relations est redéfinie. S'opère ainsi ce que nous appelons une

¹ "Qualité d'être bien celui qu'il prétend être", "qu'une chose est la même qu'une autre" (Littré, 1976).

hybridation, au cours d'un processus d'exploration sélective impliquant la rationalité, l'imaginaire, la mémoire, l'analogie et la réflexivité². La transcription de ce processus, en théorie comme en pratique, est naturellement stratégique sur le plan gestionnaire pour savoir hybrider des positions initialement inconciliables en recherchant une nouvelle cohérence (comme c'est le cas³ pour le développement durable) et non à l'intérieur⁴ d'une cohérence fixe (Newell & Simon, 1972). En corollaire, un concept d'objet (i.e. procédé, etc.) serait novateur par rapport à son aîné quand il y a survenance d'un processus d'hybridation⁵. Il se trouve qu'au sens de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle et de l'Organisation Mondiale du Commerce (2004), un élément de nouveauté inclut des caractéristiques nouvelles ne faisant pas partie du fonds de connaissances existantes dans le domaine technique considéré [état antérieur de la technique]. Un changement de taille ou de matériaux ou une substitution par un élément ou une fonction équivalent ne sont pas considérées comme inventives. La capacité de « créer en hybridant » pourrait donc potentiellement être un avantage compétitif stratégique : « C'est désormais la capacité à innover, à créer, des concepts et à produire des idées qui est devenue l'avantage compétitif essentiel » (Lévy & Jouyet, 2006).

Nous consacrons la première partie à l'illustration du processus de création par l'hybridation, à des exemples, aux cas d'emplois de diverses théories ou méthodes de conception innovante (Biomimétique, Blue Ocean Strategy, Abstraction Operators, Concept-Knowledge, TRIZ, etc.). La seconde partie est consacrée à la compréhension du processus lui-même, à ses ancrages scientifiques et aux questionnements qu'il soulève pour la recherche aussi bien en science de gestion que dans d'autres domaines tels que la psychologie cognitive de la mémoire humaine. La conclusion est de portée plus stratégique en ouvrant le débat sur les implications pratiques.

I Illustrations d'innovations par hybridation

La nouveauté par hybridation, comme nous le verrons au travers de quelques exemples, n'est pas que pure combinatoire des éléments constituant les entités-mères. Le

² Méta-réflexion, abstraction

³ Le remplacement d'une substance dangereuse mais indispensable suppose de concevoir une solution de substitution si elle n'existe pas. Le plomb (substance dangereuse) constitue un élément de base des soudures étain-plomb utilisées dans toute l'industrie électronique et il n'existe pas de substitut direct sans plomb. Si un problème de dangerosité se révélait avec le caoutchouc comment reconcevoir les pneus ?

⁴ Human problem solving

⁵ Qui dédouble de fait les possibilités de classification au sens de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (2001)

processus contient une irréversibilité et produit une forte sensation de plongement dans un univers étrangement nouveau, plus vaste, plus généralisant, faisant voir autrement les contradictions initiales. Nous allons tâcher d'expliquer pourquoi et comment cela se produit.

Les exemples d'hybridation qui vont suivre ont en commun un dépassement des ancrages originels aussi bien des savoirs que des modes de pensée, qui a nécessité notamment de renégocier les relations existantes et d'apprendre à travailler d'une manière inhabituelle, voire inattendue. Sous certains aspects, cette approche réactualise mais surtout généralise à toutes sortes d'objets les propositions désormais classiques de Simondon (1958) relatives à la genèse des ensembles et individus techniques par "intercommutation" (p. 87) de leurs éléments.

Le septième art a innové en hybridant la prise de vue réelle et le film d'animation (cartoon). Max Fleischer (1919) a introduit des personnages de bande dessinée (Betty Boop) dans un univers réel tandis que Walt Disney (1923) optait pour le principe inverse, avec un personnage réel (Alice) accédant par le rêve à un univers de bande dessinée (Alice's Wonderland). Plus récemment, le film Avatar de James Cameron (2009), plus grand succès de l'histoire du cinéma, a hybridé via le programme "Avatar" un univers virtuel et un univers réel. Ray Charles a hybridé des styles musicaux différents ("crossover"), le gospel avec le Rythm and Blues (R&B) qui a donné la soul (musique de l'âme). Il est aussi le premier artiste noir de l'histoire à être écouté par un public blanc. Le cirque du soleil est une compagnie artistique dont les spectacles sont une hybridation du cirque traditionnel et du théâtre, avec une grande importance donnée aux jeux de comédiens, l'absence d'animaux et principalement des numéros d'acrobaties. La biomimétique hybride des disciplines inattendues en s'inspirant de la nature pour mettre au point des substances plus performantes, des câbles copiant la soie des toiles d'araignée ou des architectures copiant le système de ventilation très performant des termitières. Le logement intergénérationnel est un principe hybride permettant à des étudiants d'être logés chez des personnes âgées en échange d'une présence active. Les hydroliennes sous-marines ou flottantes avec un axe vertical, sont des éoliennes entièrement transformées pour le milieu maritime. L'hydroptère est une hybridation du bateau et de l'avion. Grâce à des ailes immergées, à partir d'une certaine vitesse, la coque décolle pour se maintenir en équilibre hors de l'eau. Dans l'industrie automobile, l'innovation "Hybride Eco" du groupe PSA Peugeot Citroën (co-développée avec les équipementiers Valéo, Bosch, Continental) couple un moteur thermique avec une machine électrique pour optimiser le rendement global, notamment au démarrage à basse vitesse et en phase d'accélération par addition de puissance, procurant de nouvelles expériences de conduite sans bruits ni

vibrations. Les véhicules en seront équipés à partir de 2017. La montre «Swatch» (du groupe SMH) est une hybridation du métier de l'horlogerie et de celui de la plasturgie (Garel, 2012). SMH a aussi produit une hybridation avec le groupe automobile Mercedes-Benz en donnant naissance à la «la SMART» L'hybridation est aussi de nature institutionnelle, structurelle et organisationnelle (Guerin Schneider & Nakhla, 2010). Dans le domaine financier par exemple, pour répondre à un avantage concurrentiel tout en satisfaisant des besoins sociétaux hors de toute logique de profit, ont émergé des «groupes coopératifs hybrides» (Jardat et al., 2010), notamment des banques coopératives avec des filiales ou co-entreprises de statut privé, dans lequel un équilibre métastable s'établit entre logiques de profit à court terme et de finance patiente, d'internationalisation et d'ancrage dans la proximité (dans toutes ses dimensions, géographique, sociale professionnelle).

Parmi les exemples relatés, certains ont été étudiés d'après une théorie ou une méthode de conception innovante. C'est le cas de la Swatch d'après la théorie Concept-Knowledge [s'inspirer de ce qui existe déjà et de connaissances lointaines voire nouvelles, pour envisager des concepts initialement décalés, hors-champ des possibles] (Garel G., 2012 ; Hatchuel & Weil, 2007) ou du Cirque du Soleil d'après la Blue Ocean Strategy⁶ [s'inspirer de ce qui existe déjà dans des domaines séparés pour envisager un composé nouveau et viable] (Kim & Mauborgne, 1995) ou encore de la Biomimétique [s'inspirer de ce qui existe dans la nature et refaire le cheminement de l'évolution à l'envers pour envisager de nouvelles applications] (Benyus, 2011). Il est intéressant d'observer que ces approches, comme d'autres revendiquant également une capacité de générativité d'innovation, procèdent selon des principes analogues même si les angles d'attaque peuvent varier. Ainsi en est-il du Reverse Engineering [s'inspirer de ce qui existe déjà et refaire le cheminement de conception à l'envers pour envisager de nouvelles opportunités] (Chikofsky & Cross, 1990) ou de la Teorija Reshenija Izobretateliskih Zadatch (TRIZ) [s'inspirer d'un concept et d'une application lointaine pour envisager une transposition inattendue mais fructueuse] (Altshuller, 1946). Le paradoxe et la contradiction entourant la compréhension d'une hybridation se manifestent dans la plupart des méthodes et théories mentionnées [hydroptère (le bateau qui vole), hydrolienne (éolienne flottante à axe vertical ou sous-marine), banques coopératives, etc.].

La recherche d'une nouvelle cohérence qui donne à la métaphore de l'hybridation son sens nouveau et qu'accompagne la sensation de plongement (ou peut-être devrait-on dire d'«Eurêka»⁷), entretient avec la cohérence primitive un rapport de procréation⁸ qui a constitué

⁶ Cette stratégie marketing est bien une méthode de conception d'un «Blue Ocean»

⁷ Cri qui aurait poussé Archimède (III^{ème} avant J.C.) en comprenant le principe de la poussée (qui porte son nom) s'exerçant sur un objet

un autre angle d'attaque de la part de théories inter-reliant des sciences telles que la cognition, les mathématiques, la philosophie, l'intelligence artificielle, le marketing ou l'anthropologie et l'ethnologie. Le rapport de procréation entre la cohérence nouvelle et la cohérence primitive tient au fait qu'il ne s'agit pas d'une hybridation générée dans un univers donné et dont le résultat appartiendrait encore à cet univers, mais d'une hybridation générée hors de l'univers primitif, dans un nouvel univers plus général, plus étendu, englobant ce dernier. Toute la question est de savoir comment est procréé (ou reconçu) ce nouvel univers généralisant et comment se coproduit, dans le même mouvement, l'hybridation. D'où la dualité des angles d'attaque théoriques précédemment cités⁹. C'est à cette question que nous allons répondre dans la seconde partie. Mais auparavant, il est certainement utile de s'attarder plus longuement sur un exemple illustrant le processus de création dont il est question, de parler des approches théoriques qui lui sont consacrées et de montrer l'étendue des liens avec celles dont les cheminements semblent aussi converger dans le même sens.

L'exemple que nous avons choisi de revisiter est celui qui a initié le Fregean Programme (Frege, 1873, 1879, 1893-1903) et les travaux ultérieurs (Whitehead & Russell, 1910-13 ; Wright, 1983 ; Dummett, 1992) dédiés aux fondements scientifiques des processus de création par abstraction (Hale, 20002 ; Fine, 2002 ; Tennant, 2004) ou par extension (Tappenden, 1995 ; Cook, 2007 ; Shapiro & Weir, 2007), à savoir le passage saisissant de la géométrie plane (d'Euclide)¹⁰ à la géométrie projective (avec perspective¹¹). Ce passage est saisissant par l'impression de profondeur qu'il produit en donnant l'illusion tridimensionnelle de réalité (notamment avec les ombres) absente en géométrie plane. "La géométrie descriptive a deux objets: le premier, de donner les méthodes pour représenter sur une feuille de dessin qui n'a que deux dimensions, savoir, longueur et largeur, tous les corps de la nature, qui en ont trois, longueur, largeur et profondeur, pourvu néanmoins que ces corps puissent être définis rigoureusement. Le second objet est de donner la manière de reconnaître d'après une description exacte les formes des corps, et d'en déduire toutes les vérités qui résultent et de leur forme et de leurs positions respectives." (Monge, 1827). L'une et l'autre géométrie, euclidienne et projective, ont leur cohérence et leur utilité. La géométrie

plongé dans un liquide.

⁸ Le terme de "procréation" est préféré à celui de "création" car il ne s'agit pas d'une création ex nihilo.

⁹ Par exemple, la théorie "Concept-Knowledge" s'appuie sur la méthode du "forcing" (extension générique) développée par le mathématicien Cohen P. en 1963 (Hatchuel & Weil, 2007) ; "Abstraction Operators" (Tennant, 2004) ou "Extending knowledge and fruitful concepts" (Tappenden, 1995) s'appuient aussi sur un principe d'extension (Fregean Programme).

¹⁰ III^{ème} avant J.C.

¹¹ On doit au peintre et architecte florentin Brunelleschi (1377-1446) les bases de la perspective.

euclidienne autorise l'existence de lignes pouvant ne jamais se croiser, en l'occurrence des parallèles. En géométrie projective, toutes les lignes se coupent nécessairement lorsqu'elles sont prolongées à l'infini, les lignes considérées comme parallèles en géométrie plane convergeant¹² en géométrie projective vers leur point de fuite commun sur une ligne d'horizon. La géométrie plane est employée pour un acte immobilier notarié, une notice technique d'installation, etc. La géométrie projective est employée pour la conception numérique, les projets architecturaux, etc.

La géométrie projective se fonde sur une cohérence plus générale que celle sur laquelle se fonde la géométrie euclidienne. La représentation en géométrie projective sur une vitre se superpose parfaitement à l'observation. Tous les points de la vitre (ou du tableau) peuvent être perçus avec leur distance et avoir un correspondant réel, sauf un point de fuite, théoriquement à l'infini, qui correspond au point de vue où se situe l'observateur, devant la vitre, à une distance finie, avec lequel il varie (Volken, 2009). Dans la cohérence initiale (en géométrie plane), un point de fuite est hors de l'univers de référence et semble être imaginaire [acceptation mathématique (Foulquié, 1962) qualificatif appliqué à un élément qui ne peut (ou qui ne semblait pouvoir) être associé à aucune figuration]¹³ ou comme disait Leibnitz, être un «monstre du monde des idées» (Boyé, 1998) [le terme *monstrum* en latin signifiant «prodige ayant une valeur de présage» (Céard, 2004)]¹⁴. Pour retrouver une correspondance avec la réalité, il faut faire une extension de cette réalité, c'est-à-dire considérer la scène en englobant l'observateur, ce qui implique une réflexivité, une abstraction, un dépassement. Le passage de la géométrie plane à la géométrie projective consiste à accéder ainsi à l'enveloppe des choses en faisant une extension (projective) de l'espace pour rendre les points de fuite accessibles, les empêcher en quelque sorte de fuir à l'infini (Hartley & Zisserman, 2000) et combler un trou¹⁵ (Sage, 2006). Comblé en fait l'incomplétude de toute représentation aussi cohérente soit-elle et accéder à une nouvelle cohérence où tous les points, revêtant une définition plus générale, en l'occurrence en tant que

¹² Cette géométrisation de l'espace conserve le birapport de quatre points alignés par projection centrale (Voelke, 2008) c'est-à-dire que deux perspectives d'une même figure ont des propriétés géométriques communes (L.B. Alberti, en 1511).

¹³ Comme ont pu être qualifiés en leur temps les nombres imaginaires (Araujo Silva, 2008 ; Euler, 1777 ; Descartes, 1637)

¹⁴ Dans *Frankenstein ou le Prométhée moderne* (1817), un savant de ce nom construit un être monstrueux différent des êtres humains, sans âme, à l'aide de parties de différents corps d'êtres humains.

¹⁵ Le passage à la notion de limite comblant un trou s'illustre aussi en statistiques. Le comportement de phénomènes naturels impliquant la superposition de plusieurs causes indépendantes et identiquement distribuées (quelle que soit la loi) est représentée par la distribution limite de Gauss (Stigler, 1990).

direction⁶, font tomber leurs différences et apparaissent de même nature [ensembles constructibles (Gödel, 1940) ; indécidabilité (Turing, 1936)].

L'exemple que nous venons de voir illustre la procréation d'univers nouveaux, par abstraction ou par extension, que nous pouvons retrouver dans les mathématiques, la philosophie et l'intelligence artificielle (Colton & al, 1999 ; Steel & Al., 2000), mais aussi dans les arts [abstraction in art (Zimmer, 2003) ; Solso, 1996], le marketing stratégique [l'extension de marque (Ladwein, 1993)], le management [Strategy's origin : interplay between organizational and field-level cognitive processes (Gavetti & Rivkin, 2007) ; Strategy as creativity (Bilton & Al., 2003)], les sciences sociales [fragmentation et hybridation des disciplines (Dogan & Pahre, 1991)] ou encore l'anthropologie¹⁷ et l'ethnologie [processus analogique, abstraction et généralisation, réflexivité (de Beaune, 1012)].

II - Fondements scientifiques et concepts clés : cohérence, analogie, réflexivité, mémoire

Notre démarche se raccroche à ce qu'il y a de plus général (la méta-mathématique) pour assurer toute la portée souhaitable en vue d'applications ultérieures. Sur le plan formel et symbolique, nous allons donc recourir à des vocables et à des représentations à connotation méta-mathématique, qui demandent au besoin un usage re-délimité mais toujours attentif.

Cohérence et réflexivité

Ce qui tombe sous le sens du mot «cohérence» n'a pas nécessité jusqu'ici de définition plus précise pour comprendre provisoirement et de manière acceptable le processus d'hybridation ou son dual, le processus d'extension ou d'abstraction. Il est néanmoins opportun à présent de le faire et de s'appuyer à dessein sur la notion de «prouvabilité» des constructions purement formelles (Boniface, 2004) et sur la notion de «validité» dans un univers qui existe bel et bien. La cohérence étant établie lorsque ce qui est «prouvable» est «valide» et réciproquement lorsque ce qui est «valide» est «prouvable». La consistance d'une théorie repose sur la prouvabilité de ce qu'elle formule et s'entend d'un point de vue syntaxique dans un système de déduction¹⁸ adéquat. La validité repose sur l'existence¹⁹ d'un

¹⁶ Représentant les droites pointant dans cette direction (gagnant ainsi une dimension).

¹⁷ Conception de nouveaux outils par l'homme

¹⁸ Règles logiques, raisonnements par implication, par l'absurde, etc.

univers adéquat où la théorie est interprétable et pleinement explicative d'un point de vue sémantique. Les deux points de vue, syntaxique et sémantique, sont équivalents (Nagel & Al., 1989). Par exemple, "On voit que, pour arriver à la solution de ces deux questions, il fallait d'abord bien connaître l'analyse et la nature du corps susceptible de fermenter, et les produits de la fermentation ; car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications"²⁰.

Dire qu'une théorie (T) est consistante d'un point de vue syntaxique signifie donc qu'il n'est pas possible de prouver à partir de (T) une chose et son contraire. Car d'une contradiction, on peut inférer n'importe quelle conclusion et plus rien alors ne tient, tout se défait. Lorsqu'il est établi théoriquement ce qui suit: "si ceci est vrai et que ceci implique cela est vrai, alors cela est vrai". Toute situation réelle dans laquelle ceci est vrai (autrement dit il ne s'agit plus d'une hypothèse théorique mais d'une réalité), autorise à dire aussi (sans redéployer la démonstration) que cela est également vrai et de le vérifier (autrement dit, la conséquence prévisible est elle aussi devenue réalité). Une telle situation dans laquelle on a pu transposer la théorie et la vérifier est un univers "modèle" (terme employé par Tarski, 1935), en ce sens qu'on a pu interpréter ceci et cela sans avoir à considérer quoique ce soit d'autre. On peut dire que la théorie "habite" son modèle réel, un peu comme les données réelles habitent les variables d'une équation ou d'un logiciel. Pour valider une théorie il faut pouvoir "modéliser" un univers réel dans lequel elle est vraie (Tarski, 1972-1974). Un peu à la manière dont un architecte "modèle" l'univers réel à travers une maquette pour donner corps à son futur ouvrage. Modéliser un univers réel consiste à le réduire en ne conservant que ce qui est nécessaire et suffisant pour que les concepts manipulés par la théorie renvoient toujours à une réalité interprétable (faisant sens)²¹.

En fait, aucune construction théorique ne parvient à épouser parfaitement le réel. « La nature ne nous présente aucune réalisation parfaite de nos concepts abstraits » (Gonseth,

¹⁹ Un exemple illustratif est le débat officiel portant sur la validité de la théorie d'une origine génétique [gène de la violence cpy6A20 sur la mouche *drosophile*] du trouble comportemental des enfants, afin d'en faciliter le diagnostic dès l'âge de trois ans et de mettre en œuvre un programme de suivi jusqu'à l'âge adulte. "Le trouble des conduites s'exprime chez l'enfant et l'adolescent par une palette de comportements très divers qui vont des crises de colère et de désobéissance répétées de l'enfant difficile aux agressions graves comme le viol, les coups et blessures et le vol du délinquant" (Rapport de l'unité 666 de l'Institut National de la Santé et de la recherche médicale [INSERM], 2005).

²⁰ Lavoisier A., (1789), Traité élémentaire de chimie, Cuchet, Paris,

²¹ Par exemple, les bilans financiers d'une entreprise incarnent une réalité modelée d'après une certaine théorie financière. Il en est de même d'une carte de géographie, etc.

1939). Le raisonnement par analogie²² entre la théorie et le réel est limité, conditionné par les choix primitifs qui viennent en tête de toute théorie dite «axiomatique» adoptée en général quand il est malaisé de définir les êtres (et des relations licites) dont on veut étudier les propriétés à partir d'êtres (et des relations licites) plus primitifs encore. Les êtres de base sont alors introduits individuellement ou collectivement (structure des relations) sans chercher à en déterminer la nature (susceptible de changer) mais seulement en recensant leurs propriétés, pour ensuite explorer les conséquences de celles-ci (sur leur comportement), prises comme point de départ axiomatique (Dehornoy, 2004). Il est déterminant de savoir si une propriété dépend ou pas de l'axiomatique. En cas de dépendance²³, tous les êtres introduits sans exception satisfont ladite propriété [prouvabilité] (resp. ne la satisfont pas [réfutabilité]). Alors qu'en cas d'indépendance, parmi les êtres introduits certains la satisfont et d'autres pas. La propriété est dite non-triviale dans ce dernier cas d'indépendance [resp. triviale (universelle) dans cas précédent de dépendance].

Toucher à l'axiomatique peut donc affecter les propriétés des êtres (leur définition, par ricochet leur interprétation) et les règles du jeu (relations licites), ces bien-fondés (non-contradictaires) desquels tous les autres concepts et propositions sont logiquement déduits. Nous avons vu qu'il paraissait évident en géométrie plane que des droites parallèles ne se rejoignent jamais (axiome), alors qu'elles se rejoignaient en géométrie projective. La manipulation implicite ou inconsciente d'une (future fausse) évidence posée en axiome peut influencer sur les propriétés caractéristiques permettant de définir les choses. Nous avons vu que la définition des points en géométrie plane n'était pas applicable aux points de fuite, alors qu'en géométrie projective ils avaient une propriété caractéristique commune. Le germe redoutable de «vérité» absolue (caractéristique, évidence, théorie, logique, etc.) conditionne ainsi le possible, le connu, le nécessaire et le suffisant, etc.

Dans un univers où tous les êtres satisfont à des propriétés triviales (universelles), distinguer ceux qui satisfont, en outre, une propriété connue pour être non-triviale, ne présente pas de difficultés. Pour s'en convaincre, il suffit de penser à une sélection de points présentant une propriété d'alignement en géométrie plane, ces points sont d'abord et avant tout des points comme les autres. Savoir qu'une propriété est non-triviale est de ce point de vue indispensable. Mais toute une difficulté se concentre lorsque l'on introduit des êtres ne satisfaisant pas l'une des propriétés triviales de l'univers de départ (exemple de tels êtres : un point de fuite, une soudure sans plomb, etc.) ce qui est contradictoire avec la définition même

²² "Un des déterminants fondamentaux du fonctionnement cognitif" (Cauvin, 1978), propos cités (de Beaune, 2012)

²³ Cas d'une propriété nocive du plomb, présent dans toutes les soudures étain-plomb et n'ayant aucune substitution directe connue.

de la trivialité (universalité). Cette indécidabilité, ce paradoxe, déplace alors la difficulté vers l'axiomatique : quel(s) axiome(s) reconsidérer sans déstabiliser tout l'édifice ? Les propriétés triviales interfèrent avec la cohérence même de la théorie axiomatique or Γ [une théorie] ne démontre pas sa propre cohérence²⁴ (\square) pour obtenir la cohérence du système T il faut \square plus que T \square (Girard, 2006). C'est là un problème de réflexivité et d'incomplétude²⁵ (Gödel, 1940). D'où le recours à un processus d'extension, qui est aussi bien un processus d'abstraction que ce que nous avons choisi ici d'appeler une hybridation. Certaines méthodes ou théories de conception innovante manipulent ainsi, par extension²⁶ ou par abstraction, des propriétés pouvant interférer avec les axiomes de la théorie axiomatique \square ZF \square ²⁷ en espérant les contrôler [Concept-Knowledge (Hatchuel & Weil, 2007), Abstraction Operators (Tennant, 2004), Hume's principles (Cook, 2007 ; Shapiro & Weir, 2007), etc.].

Percevoir la nécessité d'une telle extension axiomatique n'est toutefois pas suffisant. Encore faut-il savoir laquelle. En effet, toute modification axiomatique ne permettra pas de rendre à nouveau triviales les propriétés des objets nouvellement introduits. Nous avons tâché d'expliquer les fondements scientifiques de la cohérence et de l'analogie au réel, par la théorie axiomatique communément admise par la communauté scientifique. C'est une machine à définir des êtres abstraits, sans contradictions, par analogie avec un réel \square modélisé \square à dessein, mais elle ne détient pas le pouvoir d'auto-(re)définition qui relève de la réflexivité. Nous allons par conséquent tâcher d'expliquer comment les trois concepts d'analogie, de cohérence et de réflexivité, en œuvre dans le processus de création par hybridation ou par extension, permettent de transformer une propriété initialement dépendante d'une théorie axiomatique (i.e. triviale, universelle), en une propriété qui soit finalement indépendante d'une nouvelle théorie axiomatique (i.e. non-triviale).

Analogie, réflexivité et mémoire

Pour explorer l'inconnu et tirer les leçons du passé, il faut dégager ce qui, dans l'expérience vécue, est transposable à la situation nouvellement rencontrée, voire

²⁴ Γ peut démontrer sa propre cohérence, mais alors prouvera des contrevérités \square

²⁵ A partir du code source d'un programme, il n'est pas possible si la sortie de dire de ce programme satisfait une propriété non-triviale (pas toujours vraie ou pas toujours fausse) telle que "le programme calcule un résultat correct par rapport à la spécification" (Rice, 1953). Ajouter ou modifier une théorie axiomatique ne fait que générer un nouvel indécidable (Delahaye, 1995, 2002).

²⁶ La méthode du forcing sur laquelle se fonde la théorie Concept-Knowledge est une extension générique.

²⁷ Zermelo-Fraenkel (Russel, 1903 ; Jech, 1978 ; Krivine, 1998). Une des théories axiomatiques à la base de l'édifice mathématique en raison de la possibilité d'y représenter la plupart des objets usuels.

généralisable à toute nouvelle situation pouvant être considérée comme analogue. Tout en sachant bien que les conditions qui ont prévalu dans telle ou telle situation ne se reproduisent jamais totalement à l'identique. Comme le disait Héraclite, « on ne se baigne jamais dans le même fleuve ». L'analogie est donc sélective [Incomplete descriptions] (Lewis, 1986) de sorte que les choses analogues présentent les mêmes propriétés. Elle est *ipso facto* indépendante des éléments différenciants qui sont (délibérément ou pas) ignorés. A une échelle humaine, l'anticipation doit pouvoir se faire dans un temps fini, avec des ressources et des capacités limitées (Simon, 1969 ; 1976 ; Visser, 2010). A dessein, l'analogie établit les invariances (Reuchlin, 1982 ; 1995) pour trianguler (comparaison de contextes, permanence de méthodes, étalons, etc.) et ajuster des situations réelles ou théoriques. C'est le fondement de l'identité et de la reproductibilité. "La découverte que chaque matin se lève le même soleil, et non pas un nouveau soleil, a bien été une des découvertes les plus fécondes de l'astronomie" (Frege, 1994)²⁸. L'analogie ne peut s'appuyer sur les apparences et sur les intuitions seulement, car elles peuvent être trompeuses (Il suffit de penser à internet). L'assimilation de la situation rencontrée et d'une situation déjà vécue dépend en effet de l'expérience du sujet et de ses émotions (on ne voit parfois que ce que l'on a envie de voir). L'analogie s'appuie donc sur une théorie axiomatique pour établir une identité par abstraction (Frege, 1893-1903 ; Wright, 1983 ; Fine, 2002). "From similarity between elements it is possible to derive [by abstraction] another concept to which no name has yet been given. Instead of 'the triangles are similar' we say that 'the two triangles are of identical shape' or 'the shape of one is identical with that of the other'" (Frege, 1893). L'analogie est ainsi relative à un observateur ou à un contexte.

L'analogie et la réflexivité interviennent dans le processus d'hybridation pour que soit définie une identité nouvelle à partir de deux théories axiomatiques²⁹. Les êtres issus de cette hybridation sont analogues, dans le sens où ils présentent tous une même nouvelle propriété triviale relativement à une nouvelle théorie axiomatique (elle-même hybride). Il n'est donc pas question, comme d'aucun sont pu l'expliquer jusqu'ici, d'une hybridation au sein d'une théorie axiomatique donnée, car dans ce cas l'être hybride présenterait un assortiment nouveau de propriétés non-triviales, mais sa nature serait fondamentalement analogue à celle de ses entités mères. Il serait reconnu comme un être appartenant au même univers. Ceci dit, revenons à la question où l'hybridation concerne au moins deux théories axiomatiques.

²⁸ Frege, G. (1994), *Ecrits logiques et philosophiques*, trad. Imbert C., Ed. du Seuil

²⁹ Tout du moins deux univers indépendants, chacun étant caractérisable par une propriété triviale différente de l'autre.

Nous avons vu que le processus d'hybridation était intimement lié à celui d'extension, qu'il y avait dualité. L'extension concerne une nouvelle relation établie entre des êtres réels (satisfaisant une même propriété triviale dépendante d'une théorie axiomatique) et un être imaginaire. Cette relation produit évidemment du sens nouveau. Par exemple en géométrie plane, la perspective naît d'une sensation de profondeur, du fait d'un raccourcissement³⁰ progressif de l'inter-distance entre des points réels se rapprochant d'un point de fuite. Les points réels entretiennent bien une relation nouvelle avec un point imaginaire. De même qu'entre des points de fuite imaginaires, la nouvelle relation construit une ligne d'horizon elle aussi imaginaire. L'analogie intervient ensuite pour envisager que les points imaginaires et les points réels puissent être de même nature. L'analogie porte alors sur les conditions d'une invariance³¹ relationnelle possible. C'est à dire les conditions pour que les relations d'un être avec les autres ne changent pas lorsque cet être est interchangé avec un autre de nature différente. Sous de tels auspices, le fonctionnement du groupe devient indifférent à l'arrangement des parties (êtres réels ou imaginaires) et la structure relationnelle est inchangée (isomorphisme). L'analogie procède ainsi par transposition des relations existant entre des êtres réels au sein de chaque univers, à des êtres imaginaires générés par extension, puis entre ces êtres imaginaires. De sorte que la portabilité des relations devienne indépendante de la nature réelle ou imaginaire des êtres manipulés. Ceci nécessite que la théorie axiomatique soit reconsidérée, puisque des parallèles doivent pouvoir converger et se rejoindre à l'infini. La relation de parallélisme devient ainsi réinterprétable sous un concept plus général de direction [qui sont de même direction au sens de Frege], valable aussi bien entre deux points réels, qu'entre un point réel et un point imaginaire (ligne de fuite).

L'hybridation entre deux théories axiomatiques enclenche un double processus d'extension. Le principe étant que l'être nouveau issu du processus d'hybridation soit à la fois généré par extension depuis l'une et l'autre théorie axiomatique, puis qu'il soit abstrait par analogie. Par exemple, la suppression du plomb pour la soudure de circuits imprimés et son remplacement dans les alliages de soudure par d'autres éléments tels que l'argent, le cuivre et le bismuth nécessite de reconsidérer l'ensemble des relations entre les éléments, parce que les températures de fusion changent, que des risques d'incompatibilités sont à prévoir, ou encore du fait de l'existence de brevets. Le processus d'hybridation modifie chacune des théories

³⁰ Préservation par projection centrale du rapport de quatre points alignés

³¹ "Allowing to change the operations order without impact on outcomes" (André, 2009 ; Weyl, 1949 ; Connes, 1973). En droit, une novation est "une convention qui a pour objet de substituer à une obligation qu'elle éteint, une obligation différente qu'elle crée" (art 1265).

axiomatiques initiales afin que des êtres nouveaux de nature imaginaire puissent être générés par extension. Par exemple, un substitut direct du plomb n'existant pas, le substitut "imaginaire" doit présenter des propriétés modifiées par rapport à l'univers des substituts possibles d'où il provient. Et cela vaut en réciprocity pour l'autre élément de l'alliage considéré. L'analogie permet cependant de repérer l'invariance des effets mutuels (i.e. des relations) sur les théories axiomatiques d'origine. La nouvelle théorie axiomatique sélectionne³² les axiomes d'après les propriétés souhaitées (et réciproquement), par conservation, élimination, ajout ou modification. Cette sélection n'est toutefois, dans le cas des nouveautés réelles, pas seulement un formalisme méta-mathématique. Elle est aussi en même temps un processus cognitif par lequel non seulement la nature (conservation, élimination) et l'objet (quels axiomes) de ces opérations, mais encore l'ordre dans lequel elles sont effectuées, influent sur le choix des opérations suivantes et donc sur la pertinence du nouvel univers généré.

Pour mieux comprendre de quelle manière le processus d'hybridation se déroule, nous proposons de commencer par manipuler les concepts d'intersection et de réunion à travers un exemple. En effet, le processus d'hybridation permet de remonter le temps³³, en refaisant autrement les opérations de réunion et d'intersection de propriétés ou d'axiomes à l'origine des théories axiomatiques telles qu'elles existent. Les éléments d'information³⁴ ignorés et enfouis depuis l'origine (propriétés non caractéristiques indépendantes) reviennent en surface. Imaginons que l'on recherche un cercle gris parmi des formes de différentes couleurs. Il s'agit bien d'une intersection. Il est possible de commencer l'exploration par les formes ou par les couleurs. Le critère d'arrêt étant : trouver la forme correspondant à un cercle et dont la couleur correspond au gris [exploration (1)], ou bien, trouver la couleur correspondant au gris et dont la forme correspond à un cercle [exploration (2)]. On supposera que la forme et la couleur sont des propriétés non-triviales (le cercle n'est pas la seule forme existante et le gris n'est pas non plus la seule couleur). On supposera que leur nombre n'est pas infini pour simplifier la tâche, que du reste, chaque forme est unique, de même que chaque couleur. Nous allons voir qu'en pratique, les deux explorations ne sont pas analogues du point de vue de la mémorisation des connaissances (et donc la part d'inconnu). Dans l'exploration (1), à supposer que toutes les formes soient passées en revue, la recherche s'arrête lorsque la couleur grise est identifiée. Inversement, dans l'exploration (2), à supposer que toutes les

³² A l'instar de la Blue Ocean Strategy

³³ La méthode du Reverse Engineering procède ainsi

³⁴ L'information est ce qui modifie notre vision du monde, qui réduit notre incertitude, crée une différence (Reix, 2011)

couleurs soient passées en revue, la recherche s'arrête lorsque la forme circulaire est identifiée. La rationalité limitée (Newell & Simon, 1972 ; Simon 1969 ; 1976) nous explique bien que la recherche au-delà du critère d'arrêt est peu probable, le compromis étant trouvé lorsque l'objectif fixé au départ est atteint. Par conséquent, dans le premier cas de figure toutes les couleurs ont peu de chance d'être connues et dans le second cas de figure toutes les formes ont peu de chance d'être connues. Il suffit de penser à une chambre totalement noire dans laquelle il nous faudrait tâter différentes formes pour trouver un cercle. Aussitôt trouvé, nous pourrions sortir de la chambre et allumer la lumière afin de découvrir la couleur. Inversement, imaginons plusieurs portes colorées différemment, avec des formes à découvrir derrière chacune. Nous découvririons derrière la porte grise quelles formes s'y cachent. Dans chacun de ces cas de figure, l'exploration ne permet pas de mémoriser les mêmes informations. Si l'on échange l'épreuve d'intersection [forme et couleur] par celle de la réunion [forme ou couleur], les formes et les couleurs sont explorées mais les relations entre les deux sont ignorées. Par conséquent, l'intersection et la réunion combinées permettent de mémoriser davantage d'informations et celles-ci sont en tout ou partie complémentaires. Ceci explique pourquoi certaines méthodes et théories de conception innovante passent par une phase de « partitionnement » [partitioning] (Concept-Knowledge, Blue Ocean Strategy³⁵, etc.) qui consiste à envisager toutes les recompositions possibles de propriétés caractéristiques par intersection et/ou réunion. Lorsque le nombre de propriétés considérées croît, la combinatoire des possibles est inachevable et incomplète. Le raisonnement s'étend à l'analogie [notamment l'égalité], établie par inclusion respective de contextes (A inclus dans B et réciproquement) et qui est donc une intersection particulière impliquant une infinité de contextes possibles [Bounded equality](Giacomoni, 2012)]. Nous voyons bien que si les mêmes informations ne sont pas mémorisées³⁶ au cours du processus d'exploration (1) et (2), il est néanmoins possible (en acceptant d'ignorer les différences), d'établir une analogie des intersections résultantes, en l'occurrence dans les deux cas (1) et (2), un cercle gris. Mais accepter les différences signifie ignorer provisoirement les facteurs de contingence qui ont pu intervenir pendant la genèse même de l'être nouveau (le cercle gris) et en ont modifié la trajectoire d'exploration dans l'espace des possibles. En revenant sur ces processus exploratoires et sur des informations ignorées, il est ainsi possible de revisiter³⁷ l'identité des êtres, construite en

³⁵ Par exemple, [the partitioning schedule design][same form; different form / same function; different form and function / same objective]

³⁶ Toutes ces considérations jouent un très grand rôle dans le domaine du génie logiciel ou des bases de données (Giacomoni & Sardas, 2010)

³⁷ Dans la théorie axiomatique (ZF), le concept d'ensemble est défini avec celui d'unité (Cantor, 1883) et d'indifférence à l'arrangement des parties (Bolzano, 1993). Autrement dit, une identité indifférente du processus exploratoire (intersection, réunion, etc.) qui l'établit.

son temps sur une trajectoire et une analogie sélectives. D'autant que les capacités d'extension dépendent (au sens du conditionnement³⁸) des informations mémorisées. En reprenant l'exemple précédent, pour qui sort de la chambre noire, la part d'inconnu est aussi bien une couleur ignorée qu'une forme qui n'existe pas. A ce stade, il n'est donc pas possible de savoir (à moins que cela ne soit indiqué au départ comme nous l'avons fait artificiellement) si la propriété "couleur" est triviale ou pas (c'est-à-dire si les formes sont toutes grises ou pas). Or, l'extension opère lorsqu'une propriété est triviale (qu'il faut envisager que toutes les formes n'aient plus la même couleur). Si des formes d'une autre couleur que le gris existent, mais qu'on en ignore l'existence, l'extension est stérile. Ce constat n'est pas surprenant si l'on garde à l'esprit que l'extension repose sur une série d'unions et d'intersections qui ne sont commutatives, associatives ou encore distributive l'une sur l'autre que dans l'atemporalité de la logique ensembliste, et non dans la temporalité de la cognition.

Tout au long du processus d'hybridation, l'analogie manipule des êtres "imaginaires" en dehors des univers de référence (d'où ils sont générés par extension), et c'est donc sur une nouvelle théorie axiomatique qu'elle se fonde pour considérer les effets sur les théories axiomatiques existantes. La réflexivité est bien à l'œuvre. Et son œuvre est possible parce la mémoire aussi opère son œuvre. Il faut bien une "persistance" mémorielle pour qu'une analogie entre des êtres "imaginaires" échappant aux théories axiomatiques de référence soit établie. Réflexivité et mémoire sont coopérantes et ce phénomène produit l'impression d'Eureka à l'issue du processus d'hybridation. La géométrisation de l'espace projectif³⁹ englobe la géométrisation plane d'Euclide, pour autant les deux doivent être mémorisées pour qu'une analogie opère. Autrement dit, l'observateur est à la fois dans la scène (pour combler la correspondance avec les points de fuite) et hors de la scène pour pouvoir faire la comparaison. Cette mémorisation à temps suspendu (puisque deux états successifs coexistent), prend deux formes, élémentaire et relationnelle. Pour illustrer l'idée, prenons l'exemple de l'imagerie numérique. Elle peut être mémorisée avec une matrice de pixels⁴⁰ [forme "élémentaire"] ou en mode "vectoriel"⁴¹ c'est-à-dire par sa structure [forme "relationnelle"]. La mémorisation "vectorielle" permet, lorsque l'on manipule des images, de superposer différents formats facilement. En revanche, la visualisation (l'impression) sur écran et sur papier, impose une conversion en mémorisation "matricielle". Cette conversion

³⁸ Comme on peut l'entendre en statistiques [Bernardo J.M. & Smith A.F.M., (1994), Bayesian Theory. Wiley].

³⁹ Hilbert D. (1899), [Les fondements] Leipzig, Teubner] a reformulé l'axiomatique d'Euclide et formulé celle de la géométrie projective.

⁴⁰ Unité de subdivision d'une image. La résolution (qualité) d'une image se mesure au nombre de pixels par unité de surface (cm², etc.)

⁴¹ Objet géométrique tel qu'un cercle avec son rayon et son centre, son équation, etc.

exige donc le choix⁴² d'un format. De manière très schématique, cela revient à dire que la réflexivité et l'analogie à l'œuvre dans le processus exploratoire d'hybridation, sollicitent un état mémoriel de type «vectoriel» (Giacomoni, 2012), avant de revenir à un état de type «élémentaire» inscrit de nouveau dans la temporalité (d'où l'effet de discontinuité), une fois que la nouvelle théorie axiomatique a absorbé ses aînées⁴³. Difficile à ce stade de dire lequel de ces deux états peut véritablement être considéré comme transitoire et lequel correspondrait à un état stable. Remarquons du reste, que la phase exploratoire, ne va pas sans rappeler la procédure de dissociation des processus mémoriels (Jacoby, 1991 ; Nicolas, 2000). Il s'agit en effet de faire ressurgir les informations ignorées (condition d'exclusion), tout en sachant que la remémoration consciente est conjointe (conditionnel au sens statistique) avec la résurgence d'informations inconscientes (fixation effects).

Conclusion

Nous avons privilégié la théorie à la pratique, en revenant sur des aspects parfois bien connus des spécialistes (même s'ils sont revisités). Ils pourront sauter les passages jugés comme tels. Mais nous avons pensé que nos propos devaient pouvoir être accessibles à des lecteurs d'horizons divers, quitte à sacrifier pour des raisons de volume, les aspects pratiques dans nos écrits et de les reporter à plus tard. Cela étant dit, nous pensons qu'un bon nombre de situations pratiques peuvent néanmoins s'inscrire dans une lecture stratégique autrement éclairée. Par exemple les cas d'emplois de théories ou méthodes de conception innovantes, le caractère incrémental ou de rupture d'une innovation, l'ébranlement des repères d'un collectif d'acteurs intervenant successivement ou simultanément dans un processus d'innovation, la fertilité de collectifs hétérogènes et en même temps la difficulté à élaborer une nouvelle cohérence commune, l'effort d'investissement en temps et en énergie pour modifier la chaîne de cohérence d'une filière d'acteurs impliquée dans un processus d'innovation, la perception d'un nouveau marché, l'extension d'une marque, etc. Les conditions d'une hybridation réussie impliquent que des fonds de connaissance se recomposent, grandissent et se transmettent, des concepteurs aux membres de la communauté qui l'acceptent et l'utilisent. Le processus d'hybridation progresse ainsi dans l'espace [à travers différents milieux] et dans le

⁴² Le choix a été posé en axiome dans la théorie axiomatique (ZF), son absence autorisant à de «changer de taille à volonté»⁴² (Girard, 2006).

⁴³ On retrouve là, les conceptions que Simondon (1958) avait formulées, dans son approche plus restreinte, quant au rapport entre hommes et machines, à la terminologie près. Les logiciels «vectoriels» n'existaient pas encore et Simondon affirmait, dans un langage plus classique, que (p. 170) : « dans la mémoire humaine, c'est la forme qui se conserve ». Rappelons qu'information provient de «in formo» (en forme).

temps [à travers des circonstances différentes]. Le refroidissement progressif après le «big bang» [l'«Eureka»] initial, solidifie la nouvelle forme de pensée ou la nouvelle invention technique, qui et d'innovante deviendra courante. Certaines questions plus générales se sont aussi exprimées: Quel nouvel équilibre général une organisation innovatrice et durable peut-elle prétendre ainsi concevoir ? Il y a deux cents ans toutes les énergies étaient renouvelables. Quels types d'Objets Génétiquement Modifiés envisage-t-on de créer pour satisfaire nos besoins présents ou futurs ? L'évolution a-t-elle touché les mécanismes qui nous semblent fondamentaux (cohérence, imaginaire, analogie, réflexivité, mémoire) à l'œuvre dans le processus de nouveauté par hybridation ou seulement l'accumulation des connaissances, l'accessibilité et le partage (de Beaune, 2012)⁴⁴ ?

⁴⁴ L'invention revient à combiner de manière nouvelle des éléments déjà présents [qui existaient de manière indépendante ; ce que l'expérience dissociait]. En fait, il semble que presque toutes les inventions de la préhistoire peuvent s'analyser de cette manière. L'immense connectivité d'internet a permis, avec le «foldit» [un jeu en ligne, Université de Washington, 2008] de résoudre en trois semaines le problème du repliement des protéines qui a tenu en échec les spécialistes pendant plus de quinze ans. Encore une hybridation !

Bibliographie

- André Y., (2009), *Leçons de Mathématiques contemporaines à l'IRCAM*, École Normale,
- Araujo Silva M., (2008), "L'imagination dans la géométrie de Descartes", in Serfati M. & Descote D. (dir.): *Mathématiciens français du XVIIe siècle : Descartes, Fermat, Pascal*, Presses universitaires Blaise Pascal,
- Benyus M.J., (2011), *Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durables*, broché, France
- Bilton, C. & Al., (2003), "Strategy as Creativity", in *Images of Strategy*, ed. David Wilson & Stephen Cummings (Blackwells),
- Blum C., Roli A., (2003), "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison", *ACM Computing Surveys*, Vol. 35, N°3,
- Bochner S, (1991), collected papers, part 3, Gunning R.C. (ed), American Mathematical Society,
- Bolzano B., (1993), *Les paradoxes de l'infini*, Seuil,
- Boniface J., (2004), *Hilbert et la notion d'existence en mathématiques*, vrin, France
- Boyé A., (1998), "L'origine algébrique", in *Images, Imaginaires, Imaginations*, Ellipses Paris,
- Chahira C., (1963), "Mathematical Discovery and Concept Formation", *The Philosophical Review*, Vol.72, N° 1, January,
- Chikofsky E.J. & Cross J.H.II, (1990), "Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy" in *IEEE Software*, *IEEE Computer Society* 13-17.
- Colton S., Bundy A., Waish T., (1999), "Automatic concept formation in pure mathematics", *Proceedings*, 16th International Joint Conference on Artificial Intelligency,
- Connes A., (1973), "Une classification de facteurs de type III", *Annales scientifiques de l'école normale supérieure*, série 4, 6 N°2,
- Cook R., (2007), *The Arche Papers on the Mathematics of Abstraction*. Springer (ed),
- De Beaune S. A., (2012), *L'homme et l'outil*, CNRS Editions,
- Delahaye J.P., (1995), "Logique, informatique et paradoxes", *Pour la science*, Éd., Belin,
- Delahaye J.-P., (2002), "L'intelligence et le calcul: de Gödel aux ordinateurs quantiques", *Pour la science*, Éd. Belin,
- Dehornoy P., (2007), "Au-delà du forcing : la notion de vérité essentielle en théorie des ensembles", in Joinet J.-B., *Logique, dynamique et cognition*, Publications de la Sorbonne, Paris,
- Dogan M & Pahre R., (1991), *L'innovation dans les sciences sociales : la marginalité créatrice*, Puf, Paris
- Dummett M., (1992), *Frege: Philosophy of Mathematics*, Duckworth,
- Field H. (2009), "La théorie de la vérité de Tarski", Tr. (Fr) in *Bonnay & Cozic* (2009) ;
- Fine K., (2002), *The Limits of Abstraction*, Oxford University Press,
- Foulquié P. & Saint Jean R., (1962), *Dictionnaire de la Langue Philosophique*, PUF,
- Frege G., (1893-1903), *Grundgesetze der Arithmetik*, Band I/II, Jena: Verlag Pohle H.,
- Frege G., (1879), *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*, Halle a.S.: Nebert L., Bauer S. Mengelberg (tr.), (1879-1931), *Concept Notation: A formula language of pure thought, modelled upon that of arithmetic*, in van Heijenoort J., *From Frege to Gödel: A Sourcebook in Mathematical Logic*, Cambridge, MA: Harvard University Press,
- Furth M. (tr.), (1964), *The Basic Laws of Arithmetic*, Berkeley: U. California Press, vol.I/II,

- Garel G. & Mock E., (2012), *La fabrique de l'innovation*, Dunod
- Gavetti G. & Rivkin J. W., (2007), "On the Origin of Strategy: Action and Cognition over Time", *Organization Science*, Vol.18, N°3, May-June,
- Giacomoni G. & Sardas J.-C., (2010), "PLM et gestion des évolutions de données techniques: impacts multiples et interchangeabilité restreinte", AIM, "Systèmes d'Information et Développement Durable: regards croisés et contributions", La rochelle,
- Giacomoni G., (2012), "On the Origin of Abstraction: Real and Imaginary Parts of Decidability-Making", in *Management Re-imagined*, Proceedings of 11th World Congress of IFSAM, Limerick, Ireland,
- Girard J.-Y.,(2006), *Kurt Goedel (1906-1978)*, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, ed Dominique Lecourt,
- Girard J.-Y., (2006, 2007), *Le Point Aveugle*, Cours de Logique, ed. Hermann, Paris, coll. "Visions des Sciences", (I), *Vers la perfection*, (2006), (II), *Vers l'imperfection*, (2007),
- Gödel K., (1940), *Consistency of the axiom of choice and of the generalized continuum hypothesis with the axioms of set theory*, by Kurt, *Annals of Mathematics Studies*, n°3, University Press, Princeton ; Humphrey Milford and Oxford University Press, London
- Gonseth F., (1926, 1974), *Les fondements des mathématiques, de la géométrie d'Euclide à la relativité générale et à l'intuitionnisme*, Librairie scientifique Albert Blanchard, Paris,
- Grassmann H., (2011), *From past to Future: Grassmann's Work in Context*, Petsche H.-J., Lewis A.C., Liesen J., Russ S., (eds), Birkhäuser,
- Guerin Schneider L., Nakhla M., (2010), "Emergence of an Innovative Regulation Mode in water Utilities in France: Between Commission Regulation and Franchise Bidding", *Journal of Law, Economics and Organization*, Vol. 29, N°3,
- Hale B., (2000), "Abstraction and Set Theory", *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 41(4),
- Hartley R, Zisserman A., (2000), *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press,
- Hatchuel A. & Weil B., (2007), "Design as Forcing: deepening the foundations of C-K theory", Paper submitted at ICED 07, Paris, Jech T., (1978), *Set theory*, Academic Press,
- Jacoby, L.L., (1991), "A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of Memory", *Journal of Memory and Language*, 30
- Jardat R., Gianfaldoni P., Hiez D. (2010), "Democratic corporate governance within fluctuating cooperative banks : a multi disciplinary diagnosis and propositions of orientations", *Corporate Ownership and Control Journal*, vol. 7,
- Krivine J.-L., (1998), *Théorie des ensembles*, Cassini,
- Lewis D., (1986), *On the Plurality of Worlds*, Blackwell,
- Lévy M. & Jouyet J.-P., (2004), rapport au ministre de l'Economie et des Finances, mars 2006, "Clefs de la propriété intellectuelle", CNUCED/OMC & Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle, Genève,
- Littré E., (1976), *Dictionnaire de la langue française*, tome III, éditions Famot, Genève,
- Mawhin J., (2002), "Les monstres mathématiques, ou l'horreur à l'écran", séminaires du Centre de Recherche en Histoire des Sciences,

- Monge G., (1827), "*Géométrie descriptive, Le théorème fondamental de la géométrie projective : évolution de sa preuve entre 1847 et 1900 = The fundamental theorem of projective geometry : evolution of its proof between 1847 and 1900*", Bachelier, Paris,
- Nagel E., Newman J., Gödel K., Girard J-Y., (1989), *Le théorème de Gödel*, Le Seuil,
- Newell, A., & Simon H.A. (1972), *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall,
- Nicolas S., (2000), "La dissociation automatique vs. contrôlée en rappel: application de la PDP de Jacoby (1991, 1998)", *Revue de Neuropsychologie*, Vol. 10, N°1,
- Nicolas S., (2000), *La mémoire humaine: une perspective fonctionnaliste*, L'Harmattan, Paris,
- Peacock G., (1833), "Report on the Recent Progress and Present State of Certain Branches of Analysis", Third Meeting of the British Association for the Advancement of Science,
- Reix R., Kalika M., Fallery B. & Rowe F., (2011), *Systèmes d'information et management des organisations*, 6e éd., Vuibert,
- Reuchlin M., (1995), *Les méthodes en psychologie*, PUF, 10e édition,
- Reuchlin M., (1982), *Les méthodes en psychologie*, PUF, 7e édition,
- Rice H.G., (1953), "Classes of recursively enumerable sets and their decision problems", *Trans. Am. Math. Soc.*, vol. 74, n°2,
- Russel B., (1903), *The principles of mathematics*, New York,
- Sage M., (2006), « Complétion », cours, école normale supérieure, Paris,
- Shapiro S. & Weir A., (2007), "New V, ZF, and Abstraction", Cook R.T. (ed), *The Arché Papers on the Mathematics of Abstraction*, Springer,
- Simon H.A., (1969), *The science of the artificial*, MIT Press, Cambridge,
- Simon, H.A., (1976), "From substantial to procedural rationality" in Latsis S.J.(Ed.), *Method and Appraisal in Economics*, Cambridge University Press, Cambridge
- Simondon G. (1958) [2012], *Du mode d'existence des objets techniques*, Ed. Aubier, Paris : France.
- Solso R. L., (1996), *Cognition and the visual arts*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Steel G., Colton S., Bundy A. & Walsh T., (2000), "Cross Domain mathematical formation", Proceedings of the AISB00 Symposium on Creative Cultural Aspects,
- Stigler S.M., (1990), *The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900*, Harvard, Belknap Press of Harvard University Press, 1^{re} éd.,
- Tappenden J., (1995), "Extending Knowledge and 'Fruitful Concepts': Fregean Themes in "*the Foundations of Mathematics*", *Noûs*, Vol. 29, N°4,
- Tarski A., (1972-74), "Le concept de vérité dans les langages formalisés", in *Logique, Sémantique, métamathématique*, (1935), Tr. (Fr) Granger G., Colin A., 2 vol.,
- Tennant N., (2004), "A general theory of abstraction operators", *The Philosophical Quarterly*, Vol. 54, N°214,
- Visser W., (2010), "Simon: le design comme activité de résolution de problèmes", Coll. *on "Art + Design & Psychology"* (2),
- Voelke J.-D., (2008), "Le théorème fondamental de la géométrie projective: évolution de sa preuve entre 1847 et 1900", vol. 62, N°3, Springer, Heidelberg, Allemagne,
- Volken, H., (2000), "Le syndrome du précipice. La peur du vide symbolique", *Revue européenne des sciences sociales*,

- Weyl H., (1949), *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton University Press,
- Whitehead A.N. & Russell B., (1910-1913), *Principia Mathematica*, 3 Vol., Cambridge University Press,
- Wright C., (1983), *Frege's Conception of Numbers as Objects*, Aberdeen,
- Zimmer R., (2003), "Abstraction in Art with Implications for Perception" *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 358, N°1435, The Royal Society,