

---

# Imaginaire et imitation du réel : genèse des idées et sciences de l'artificiel

---

Gilbert Giacomoni

Institut de Recherche en Gestion , Université Paris-Est Créteil Val de Marne (UPEC), 4 Route de Choisy, 94010 Créteil

AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris

**Résumé :** L'imitation imaginaire du monde réel intervient dans le processus de conception de nouvelles représentations. Il s'agit d'une technique d'abstraction très puissante applicable à toute forme d'activité humaine (intelligence artificielle, biomimétique, mondes virtuels, etc.) et caractéristique de la conception innovante. Les recherches s'inscrivent dans la lignée des travaux consacrés à la construction artificielle de l'identité des choses à travers le miroir de la pensée et à la modélisation et au modelage des imaginaires. Des exemples à visée pédagogique sont développés (photographie, nombres imaginaires, expérience de perception visuelle) à partir desquels une théorie de la conception de nouvelles représentations est proposée. Nous discutons ses bases théoriques et les cartouches du raisonnement : cohérence, imaginaire, analogie, mémoire et réflexivité. Le processus introduit une irréversibilité qui augmente l'espace de compréhension accessible et l'espace des vitesses de compréhension accessibles, ouvrant ainsi de nouveaux horizons d'apprentissage. Du reste, il minimise le travail de la mémoire et sa consommation d'énergie.

**Mots clés :** imaginaire, imitation, représentation, abstraction, innovation

## Introduction

L'imitation est généralement opposée à la conception innovante, du fait qu'elle soit supposée n'apporter aucun élément de nouveauté à l'état de l'art et de la connaissance. La contrefaçon d'une marque ou d'une invention, par ceux qui ne savent pas ou qui ne veulent innover, s'inscrirait dans ce schéma. Mais l'imitation est aussi reconnue comme une forme d'apprentissage indirect, par l'observation et sans expérience directe pour en connaître les conclusions (Thorndike, 1898 ; Tomasello *et al.*, 1993). Elle permet d'apprendre sans s'exposer à des risques éventuels. La présence d'un modèle est nécessaire à l'imitateur quoique les connaissances ne soient pas toujours transmises volontairement. Du reste, la complexité de l'imitation dépend de ce que le sujet sait déjà. L'imitation peut aussi fonctionner collectivement. La diversité des points de vue devient un avantage pour comprendre une situation ou un comportement qui échapperait à un seul individu. Piaget définit l'imitation comme le "processus assurant la transition entre l'intelligence sensori-motrice et la représentation imagée" (Piaget, 1962, p. 143). La récente découverte des neurones-miroirs (Rizzolatti et Sinigaglia, 2011) expliquerait les mécanismes de l'imitation, de la saisie des intentions et des représentations d'action, qui permettraient de comprendre la relation à autrui (partage des émotions, désirs, langage, etc.). Pour notre cerveau, faire quelque chose et imaginer le faire seraient une seule et même chose. La construction imaginaire permet de pousser loin l'expérience d'imitation par la pensée notamment lorsque l'expérience réelle n'est pas possible ou que le modèle n'est plus là. L'expérience d'imitation du monde réel par l'imaginaire intervient dans le processus de conception de nouvelles représentations, qui demeure "le principal chaînon manquant de nos théories de la pensée" (Simon, 1996, p. 198). Nous montrons qu'il s'agit en fait d'un trait caractéristique de la conception innovante. Plus exactement, il s'agit d'une technique d'abstraction très puissante applicable à toute forme d'activité humaine. On la retrouve notamment en intelligence artificielle, dans les mondes virtuels (avatars, fractals, etc.), en médecine (clonage, génériques, leurres hormonaux, etc.) ou en biomimétique (Benyus, 2011 ; Delahaye, 2003). Ses principes sont racontés de longue date et dans toutes les mythologies à travers la symbolique du miroir qui démultiplie une image. De l'autre côté du miroir, il existe un monde imaginaire d'où l'on revient avec une forme d'asymétrie informationnelle (claudication de Jason, Œdipe, Héphestos, etc.).

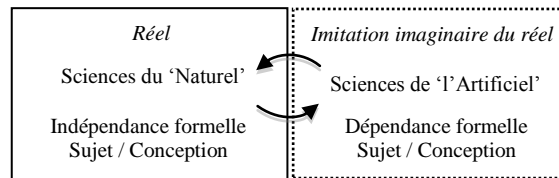
L'article est structuré comme suit. En première partie, est expliqué le choix d'une approche scientifique adaptée pour rendre compte de la conception d'une imitation imaginaire du monde réel, en l'occurrence celle des sciences de l'artificiel. La seconde partie est consacrée à une revue de littérature des approches scientifiques de l'imitation imaginaire, avec deux sous parties respectivement consacrées d'abord à la construction artificielle de l'identité des choses à travers le miroir de la pensée et ensuite à la modélisation et au modelage des imaginaires. La troisième partie développe trois exemples à visée pédagogique pour comprendre l'imitation imaginaire et le rapport à la conception innovante : (i) la photographie pour refléter une conception artistique (ii) les nombres imaginaires pour refléter une conception scientifique (iii) l'expérience de perception visuelle de V. S. Ramachandran revisitée pour refléter une conception cognitive. La quatrième partie explicite les bases théoriques de la conception artificielle de nouvelles représentations et les cartouches du raisonnement : cohérence, imaginaire, analogie, mémoire, réflexivité. Ses bénéfices sont discutés : une augmentation irréversible de l'espace de compréhension accessible et de l'espace des vitesses de compréhension accessibles, ouvrant de nouveaux horizons d'apprentissage, tout en minimisant le travail de la mémoire et sa consommation d'énergie.

### 1. Une approche scientifique pour concevoir une imitation imaginaire du monde réel

Nous pourrions chercher à comprendre le travail d'imitation du monde réel par l'imaginaire sans nécessairement choisir une approche scientifique. Rien ne saurait s'y opposer. Mais, nous sommes en droit de penser qu'une science se constitue en un corps de connaissances pouvant être discuté séparément de ses concepteurs et de la classe des objets et des phénomènes auxquels il s'applique. La loi d'Archimède peut être discutée séparément d'Archimède ou des corps flottants, ce qui n'est pas toujours le cas d'une œuvre d'art ou d'une œuvre musicale. C'est ce qui motive notre choix d'un savoir scientifiquement constitué pour espérer gagner en reproductibilité, en transférabilité et en transmissibilité. Mais il est question d'imaginaire et l'imaginaire "est le résultat du travail de l'imagination, faculté de se représenter quelque chose qui n'existe pas, à partir du réel." (Jarrige et Morera, 2005). En étant dépendant du sujet (individuel ou collectif) et en échappant aux réalités de ce monde, l'imaginaire échapperait-il aussi aux sciences qui se définissent comme un "corps de connaissances concernant certaines classes des réalités de ce monde, objets ou phénomènes : leurs caractéristiques, leurs propriétés, les façons dont ils se comportent et interagissent." Simon, 1996) ? Certaines sciences s'intéressent aux objets et aux phénomènes dont la substance est produite par la nature. Elles sont connues en tant que sciences dites du 'naturel'. La volcanologie par exemple, relève des sciences du naturel et n'interroge pas les intentions de la nature. Mais il existe aussi des sciences, dites de 'l'artificiel' ou de la 'conception', qui s'intéressent à ce qui est humainement conçu ou créé dans une intention donnée, consciente ou inconsciente. 'Concevoir' se définit comme l'action d'élaborer quelque chose dans son esprit, en arranger les divers éléments et le réaliser ou le faire réaliser. C'est aussi l'aptitude à comprendre, à admettre, à se représenter par la pensée quelque chose de telle manière, à en avoir telle idée, telle interprétation (*Larousse*). "Quiconque imagine quelques dispositions visant à changer une situation existante en une situation préférée, est un concepteur" (Simon, 1969, p. 111). Les sciences du naturel s'intéressent donc aux objets et aux phénomènes tels qu'ils 'sont', tandis que les sciences de l'artificiel s'intéressent à ce qu'ils 'pourraient' être. Le conditionnel est un mode servant à exprimer l'irréel, l'imaginaire, l'hypothèse, le préférable, et un temps servant à marquer la postérité (un futur à partir d'un passé et non d'un présent). Une conception humaine telle que les statistiques prévisionnelles s'intéresse ainsi à ce que 'pourrait' être la population considérée en extrapolant à partir d'échantillons aléatoires et de simulations, dans l'intention de réduire les incertitudes attachées à une situation existante et la changer en une situation préférée. Ces statistiques-là se distinguent des statistiques descriptives qui s'intéressent à la population telle qu'elle 'est', sans interroger les intentions de la Nature qui l'a fait ainsi.

Les sciences de l'artificiel sont relativement récentes (années 70) et se définissent comme des sciences frontières entre le naturel et l'artificiel, le réel et l'abstrait: "c'est à la mince interface entre les lois naturelles affectant l'artefact et les lois naturelles ne l'affectant pas que se caractérisent les propriétés spécifiques de l'artefact" (Ibid, p.204). L'artefact se comprend comme un objet artificiel, conçu à partir d'un objet naturel abstrait de son environnement. La conception d'objets artificiels (un avatar, un arôme, un organe, un paradis, etc.) a pour but d'adapter leurs caractéristiques à un environnement de destination différent (virtuel, biologique, climatique, juridique, économique, etc) et ainsi de pouvoir prédire leur comportement. Pour ce faire, le concepteur doit, dans l'espace-temps de cette opération, isoler l'artefact de tout environnement et le suspendre ainsi au-dessus de tout but, de toute loi. Cet espace-temps du raisonnement de conception n'est pas formalisable avec les sciences du naturel comme l'est la conception résultante. Le passage, dans un sens ou dans l'autre, des sciences de l'artificiel aux sciences du naturel, tient ainsi à la séparabilité 'formelle' du concepteur et de la conception (cf figure 1). Est formel ce qui ne s'adresse qu'à la forme, c'est-à-dire aux relations externes qu'entretiennent les éléments d'un raisonnement (Girard, 1999). Si

l'imitation imaginaire est inaccessible aux sciences du naturel et ne l'est pas aux sciences de l'artificiel, c'est en raison de leur relation au concepteur. L'imitation imaginaire est inséparable de la dimension cognitive et intentionnelle du concepteur. Par conséquent, il est raisonnable de considérer l'imitation imaginaire d'après les sciences de l'artificiel. Nous pouvons ainsi remonter à la genèse des idées, restée jusqu'ici relativement inaccessible aux sciences du naturel.



**Figure 1 – Approche méthodologique : séparabilité formelle (indépendance) entre le Sujet (concepteur) et sa conception (imitation imaginaire du réel)**

A l'intérieur des frontières des sciences de l'artificiel telles que les posent Simon H. (Ibid, p.31), les objets y sont "synthétisés par les êtres humains". Ils peuvent y "imiter les apparences des objets naturels, bien qu'il leur manque, sous un ou plusieurs aspects, la réalité de l'objet naturel". Ils peuvent y "être caractérisés en termes de fonctions, de buts, d'adaptation". Ils y sont souvent "considérés, en particulier lors de leur conception, en terme d'impératifs tout autant qu'en termes descriptifs". Ainsi par exemple, le nylon imite les polymères naturels comme la cellulose, la soie ou le caoutchouc. C'est une matière synthétique, la première de la chimie moderne, aux applications devenues quasi universelles.

## **2. Revue de littérature des approches scientifiques de l'imitation imaginaire**

Toute imitation imaginaire du réel (humoristique, musicale, génétique, chimique, etc.) est (1) une construction artificielle de l'identité des choses qui passe par le miroir de la pensée et se conçoit donc comme (2) une modélisation et un modelage de l'imaginaire.

### **2.1. Une construction artificielle de l'identité des choses à travers le miroir de la pensée**

L'identité peut être définie (*Que sais-je ?*) comme un "ensemble de significations apposées par des acteurs sur une réalité physique et subjective, plus ou moins floue de leurs mondes vécus, ensemble construit par un autre acteur. C'est donc un sens perçu donné par chaque acteur au sujet de lui-même ou d'autres acteurs" (Muchielli, 2013). Si, dans la mémoire humaine, nos identités ont des formes stabilisées, établies à partir de conventions structurantes (dites, écrites ou même chantées), c'est afin de pouvoir être nommées, classées, comparées et reconnues dans l'espace ou dans le temps. Mais les identités se réinventent et évoluent en permanence. Même la reconnaissance d'une forme géométrique n'est pas une évidence. Des aveugles de naissance ayant recouvré la vue à l'âge adulte après une intervention chirurgicale, ont été en incapacité de pouvoir reconnaître un carré ou un cercle (Reuchlin, 1982). La reconnaissance et la classification des choses sont le résultat d'un apprentissage. Toute identité, même la plus élémentaire, s'appuie sur un savoir collectif, que ce soit pour une aide ou un simple outil.

La genèse de l'identité est scientifique, définie de manière informationnelle et spatio-temporelle, se voulant ainsi suffisamment générale pour que toute définition particulière, qu'elle soit issue des sciences humaines ou fondamentales, puisse y être plongée (Delahaye, 2003 ; Hallot, 2012). A partir d'une identité caractéristique d'un groupe d'êtres ou de choses, il est possible sans trop de difficultés, de créer une identité spécifique caractérisant un sous-groupe donné. Nous formons une seule humanité car des liens nous attachent à nos semblables. C'est là une propriété universelle. En même temps, nous pouvons nous définir aussi par rapport à d'autres (sexe, religion, etc.). En

revanche, concevoir une identité plus générale, nécessairement inconnue, correspondant à un univers d'êtres ou de choses plus vaste au sein duquel l'identité initiale ne constitue qu'une identité spécifique, est un processus hautement plus complexe (Giacomoni et Sardas, 2014) (cf Figure 2). Car cela suppose de définir un univers d'un genre nouveau caractérisant des êtres ou des choses qui jusque-là s'ignoraient. Du reste, il faut opérer en contrôlant la création d'un tel univers depuis l'intérieur de l'ancien. La découverte d'une nouvelle espèce par exemple (telle que l'*Homo naledi*) enclenche un tel processus, étudié en génétique (Colombani, 1993 ; Carosella et Pradeu, 2010) et en mathématiques où il est qualifié d'*extension* (Bourgne et Azra, 1976 ; Tappenden, 1995 ; Chambert-Loir A., 2005 ; Dehornoy, 2007). Autre exemple illustratif, le patrimoine génétique d'un enfant est quelque chose de nouveau qui, par croisement, vient augmenter le patrimoine génétique familial, sans être seulement une intersection ou une réunion. Il en est de même de l'identité d'un Smartphone et d'un téléphone filaire qui sont héréditairement liées, de croisement en croisement (ordinateur, vidéo, internet, etc.).

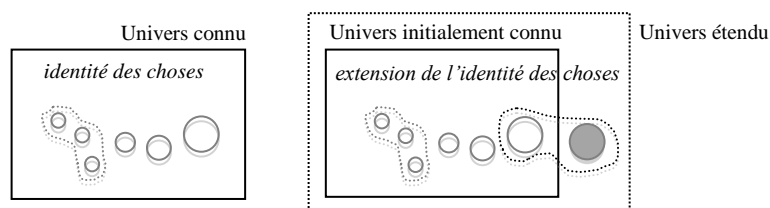


Figure 2 – Construction d'identités

Le processus d'imitation imaginaire est une relecture du monde qui consiste à dire en quoi l'original et son imitation apparaissent de même identité, en termes de définition, de classe d'équivalence, d'extension (Hilbert et Frege cités par Boniface, 2004, pp. 166-167, 187-188) et cela dévoile un état des connaissances et des représentations mentales. "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, 1884, 1994). L'imitation imaginaire n'est jamais parfaite étant donné qu'elle dépend de ce que l'imitateur sait de la chose dont il s'inspire. Les Grecs (Démocrite, Socrate, Aristote) avaient conceptualisé l'imitation par le terme de *mimesis*. Ce dernier proposait trois façons d'imiter: comme les choses sont, comme on les pense et comme elles devraient être (nous voyons bien là, que les sciences de l'artificiel sont actives). La *Tekhnè* (Heidegger, 1962, p.65-66) dévoilait la chose à produire telle qu'elle avait été conçue, l'essence de l'œuvre, de la création. Elle était associée à l'Épistémè, la connaissance. G. Simondon pensait aussi que la genèse d'un objet technique faisait partie de son identité (Simondon, 1958). En choisissant l'information qu'il estime pertinente et en délaissant celle qu'il tient pour indépendante, l'imitateur introduit comme un défaut dans la construction de l'identité des choses. Et l'imitation imaginaire pointe sur ce défaut, cette information hors cadre. Sans l'imitation imaginaire, il ne serait même pas possible de savoir qu'il existe ce vice caché, lointain et indirect, dans l'édifice de nos connaissances. Du reste, tout le monde n'imité pas de la même manière suivant le lieu et suivant l'époque. La construction collective de l'identité doit en conséquence procéder par extension des conceptions individuelles jusqu'à parvenir à un état stabilisé. Mais une telle construction peut très vite se révéler complexe et s'opposer au principe de rationalité substantive<sup>1</sup> et procédurale<sup>2</sup> (Simon, 1996), chaque individu ayant naturellement tendance à s'en tenir à une définition de l'identité satisfaisante à ses yeux et aux yeux du groupe avec lequel il interagit. C'est tout l'enjeu des sociétés humaines qui tendent à

<sup>1</sup> Rationalité du comportement dépendant du sujet du seul point de vue de ses buts ou intentions. Une fois ceux-ci fixés, son comportement est entièrement déterminé par les caractéristiques de l'environnement dans lequel il a lieu.

<sup>2</sup> Rationalité du comportement dépendant d'un processus de réflexion approprié.

devenir de plus en plus multiculturelles.

## 2.2. Modélisation et modelage des imaginaires

L. de Vinci disait de la nature qu'elle "est un grand livre écrit en langage mathématique". Etant donné que l'imaginaire est produit par l'Homme et que l'Homme est produit par la Nature, quel serait le langage mathématique de l'imaginaire et comment s'appliquerait-il à la construction d'imitation imaginaire générant de nouvelles identités, ce qui est le propre du processus d'innovation ?

Certains auteurs (Musso *et al.*, 2014, 2015) soutiennent l'idée de traiter les imaginaires comme matière première pour explorer les possibilités de modélisation et de modelage de ces imaginaires et, dans le même temps, analyser et formaliser la logique et la dynamique des imaginaires qui se concrétisent à l'occasion de processus continus et itératifs d'innovation intensive. Telle est pour ainsi dire leur option épistémologique et anthropologique, étant donné qu'ils abordent les imaginaires par les sciences humaines. Il n'est plus question là d'imaginaire impénétrable, indéchiffrable, immodélisable, associé à des fictions et coupé du réel, comme ce fût longtemps le cas. Ces auteurs les voient constitués de récits et d'univers de formes dynamiques toujours plus complexes, qui informent et façonnent les objets techniques, avec en retour, la possibilité de lire dans l'objet technique, la généalogie des savoirs et des imaginaires qui l'ont constitué. Il serait même possible de lire une civilisation dans ses objets techniques (Dagognet, 1989). Ceux-ci conjuguent des dimensions fonctionnelles et fictionnelles susceptibles d'accélérer leur diffusion, leur acceptation, leur commerce. L'innovation technique serait tout à la fois une exploration et une projection de savoirs et d'imaginaires assemblés et cristallisés. Plus en profondeur, agirait également une autre temporalité, celle des représentations sociales et culturelles qui opèreraient sur de très longues périodes, telle une mémoire diffuse informant les imaginaires des acteurs et des objets. L'imaginaire est aussi abordé par les sciences exactes, de manière essentiellement axiomatique (c'est-à-dire en le modélisant sans démonstration) ou bien de manière technique et fonctionnelle, à l'instar de ce qu'ont pu faire les mathématiciens avec les "nombres imaginaires" (Descartes, 1637 ; Flament, 2003), sur lesquels nous reviendrons dans la section suivante, les biologistes avec les leurres du système immunitaire (enveloppes du virus vides) en thérapie génique ["capsides" (Mingozzi *et al.*, 2013)], les chimistes avec la superposition d'états fictifs ["chat de Schrödinger" (Schrödinger, 1992) ; "mésomérie" (*Larousse*)] ou les physiciens avec les champs électromagnétiques [un champ électrique produit par un électron-miroir est l'image dans le miroir du champ produit par l'électron ; un champ magnétique produit par le mouvement de l'électron-miroir, est inversé par rapport au champ devant le miroir].

Pour les chercheurs abordant les imaginaires par les sciences humaines, le défi est de remonter aux sources encore peu explorées et défrichées de l'innovation, là où se confrontent et s'entremêlent les intuitions, les concepts, les émotions, les rêves et les imaginaires des divers acteurs, notamment ceux des concepteurs. G. Simondon (1958) et F. Caron (2011) ont focalisé sur le moment de l'invention technique, moment du cycle de l'image mentale et de l'imagination, produit de la collaboration et de la transformation des savoirs multiples, tacites ou formalisés, au sein de l'entreprise. G. Durand a proposé une définition de l'imaginaire (Durand, 2016) en tant que système dynamique organisateur de formes, d'images, de narrations, de récits, qui leur confère une certaine cohérence et une profondeur, en construisant du sens, en les reliant entre elles. Ce serait un ensemble de représentations, structurées, stabilisées, dans des chaînes et des archétypes. Il aurait une logique propre, voire une grammaire, et serait modélisable. G. Durand a proposé également une modélisation originale (Durand, 1988, 2015) pour tenter de comprendre scientifiquement le

fonctionnement universel de l'imaginaire humain (en ce sens qu'il permet par exemple de comprendre des imaginaires de cultures différentes). Il a visé une science de l'imaginaire, procédant à des expérimentations et à des vérifications cliniques, afin de définir une normalité psychique à partir de "structures figuratives" repérables de façon universelle (Durand, 2016) et d'induire une modélisation de toutes les procédures imaginables de l'imaginaire. Cette idée d'une recherche pluridisciplinaire sur une science de l'imaginaire, sa construction, son évolution, à l'échelle individuelle (psychologique) et collective (sociologique, anthropologique) remonte à G. Bachelard (1993-1942).

J.-J. Wunenburger (2011) s'est intéressé à l'imaginaire, à ses formes (utopies), à son langage et à sa fonction heuristique. L'imaginaire engloberait selon lui, l'ensemble des contenus psychiques (affects, images, croyances, représentations, fictions, etc.) qui ne sont pas strictement réductibles à du logico-cognitif, qui sont en rapport avec le traitement de l'information au présent : connexion entre l'imagination, l'imaginaire et le traitement du monde à tout moment, en rapport avec le passé, toute mémoire étant tissée de reconstruction imaginaire, et en rapport avec toute représentation de l'avenir qui va traverser cette couche de l'imaginaire. Ses significations en termes de métaphores, d'analogies ou de symboles, ont des valeurs affectives ambivalentes (à la fois positives et négatives). Les imaginaires seraient généralement collectifs, l'une de leurs fonctions étant de constituer un référent partagé permettant aux acteurs de l'innovation de coordonner leurs actions (Flichy et Picon, 2001). Ils produiraient ainsi des résistances ou des capacités de changement. Ils seraient réglés par des lois (polarisation / renversement des contraires) et ne se renouvelleraient pas indéfiniment.

L'objet technique est donc vu comme le résultat d'un enchevêtrement dynamique entre la rationalité et l'imaginaire (Balandier, 2001 ; Jouvent, 2013, 2015 ; Sfez, 2002 ; Aloui & Djeridi, 2009) et la dimension imaginaire jouerait un rôle prépondérant dans le changement technique (Schatzberg, 1999 ; Coutard, 2001) et la postmodernité (Maffesoli, 2014). Ce serait même selon eux la première fois dans l'histoire des hommes que l'imaginaire serait aussi dépendant de la technique (rapport théorisé sous le terme de techno-imaginaires s'exprimant dans la conception, les représentations, les pratiques et les usages collectifs du numérique et d'internet). La technique serait donc pétrie d'imaginaire et en retour elle produirait de l'imaginaire (mondes virtuels, etc.). "Le rêve pour une part engendre l'objet technique et celui-ci en retour inspire d'autres rêves à partir de quoi d'autres objets sont conçus puis construits" (Garçon, 2003, p. 38). B. Gille (1979) définit le système technique non seulement comme un assemblage de différentes techniques, mais comme l'inscription de cet assemblage dans une vision du monde, dans un système culturel. C'est bien visible dans les réseaux sociaux où les imaginaires de tous les acteurs saturent (Miller et Morris, 1999 ; Scardigli, 1989, 2013).

Cette revue de littérature à travers les sciences humaines ou exactes, apporte un certain nombre d'éléments de réponses à la question de savoir comment (la science de) l'imaginaire agit sur la conception d'imitations imaginaires et la construction de nouvelles identités, ce qui est comme nous l'avons dit plus haut, le propre du processus d'innovation: (i) l'imaginaire peut être individuel ou collectif (ii) il est dépendant des systèmes techniques qui le font vivre (notamment le numérique et l'internet) (iii) il est modélisable et modelable : fait de représentations et d'affects, etc., il présente une dynamique structurelle adaptée à l'exploration des réalités possibles, avec un langage et une fonction heuristique (relecture de l'existant, reconstruction de sens, etc.) (iv) il informe et façonne les objets techniques, enchevêtrements dynamiques de rationalité et d'imaginaire (d'où la lecture possible d'une généalogie des savoirs et des imaginaires qui l'ont constitué) (v) il n'existe pas une

science de l'imaginaire en capacité de formaliser la conception d'imitations imaginaires (une modélisation par exemple) et la construction de nouvelles identités (par exemple de la chose modélisée).

### **3. Imitation imaginaire et conception innovante : trois exemples à visée pédagogique**

Nous allons développer à présent, trois exemples à visée pédagogique: (i) la photographie pour refléter une conception artistique (ii) les nombres imaginaires pour refléter une conception purement scientifique en mathématiques (iii) l'expérience de perception visuelle de V. S. Ramachandran revisitée pour mettre en lumière le raisonnement de conception innovante.

Ces trois exemples permettront de discuter dans la partie suivante, toujours à l'appui des sciences de l'artificiel, des bases théoriques de la conception de nouvelles représentations et des cartouches du raisonnement.

#### **3.1. La photographie**

Quel que soit le procédé employé, chimique ou numérique, la photographie est une imitation de nature imaginaire du monde réel. *"Une photo n'est pas ce qui a été photographié. C'est quelque chose d'autre. Il s'agit d'une transformation (...)"* (Diamonstein, 1981). L'objet photographié a bien franchi les frontières des sciences de l'artificiel. Il est *synthétisé par un être humain, imite les apparences de l'objet naturel, bien qu'il lui manque, sous un ou plusieurs aspects, la réalité de l'objet naturel* (un verre d'eau photographié n'étanche pas la soif) *et il peut être caractérisé en termes de fonctions, de buts, d'adaptation. Il est considéré, en particulier lors de sa conception, en terme d'impératifs tout autant qu'en termes descriptifs* (les clichés peuvent servir pour une expertise judiciaire ou médicale ou militaire, etc.). L'objet photographié, abstrait de son environnement, permet au sujet de reconstruire une trame relationnelle. Par exemple, l'introduction d'éléments d'un environnement ou le fait de mettre quatre côtés autour d'un ensemble d'informations ou de faits, les transforme. La Gestalt-théorie (Köhler, 1929) s'est d'ailleurs intéressée à la structure des relations (structuralisme) qui permet d'interpréter les objets ou les situations grâce à une organisation spécifique de nos observations. Nous pouvons remarquer que la nouvelle trame relationnelle ne saurait être signifiante si l'objet n'entretenait plus aucun lien avec la réalité d'origine. Pour interpréter une image il faut en effet une certaine connaissance du monde réel photographié (une image radiographique par exemple, n'est interprétable que par un professionnel). L'exploration quant à elle (amorce de relations, ambiguïté, indépendance apparente, etc.) est orientée dans deux directions actives simultanément dans le monde réel et, c'est nouveau, dans le monde irréel. Une grue semble décrocher la lune, un avion semble posé sur un arbre, etc. Dans cet entrelacement de liens signifiants entre la dimension réelle et la dimension irréelle de l'image, le sujet cherche une trame identitaire relationnelle plus générale. L'intention de la photographie est précisément de concevoir cet espace nouveau en partie réelle et en partie imaginaire. C'est pour cette raison que la communication de l'objet photographié change notre compréhension de l'objet naturel. Ces considérations prennent une importance particulière lorsqu'il est question de l'image perçue par l'audience d'une marque, les consommateurs, les leaders d'opinion. L'image de marque, l'e-réputation sur internet, regroupe les informations réelles ou imaginaires (faits, rumeurs ou idées reçues) que les communautés échangent sous forme de commentaires, d'articles, d'images ou de vidéos, à propos d'une marque, d'un individu ou d'une entreprise. Elles influencent les jugements de valeurs et les comportements, jusqu'à provoquer des désalignements entre l'image véhiculée et l'image souhaitée (identité d'une marque par exemple). Avant la photographie, Léonard de Vinci disait de la peinture "La peinture est la plus parfaite des sciences, parce qu'à travers l'étude et la reproduction, elle conduit à la connaissance des lois qui régissent la nature et les passions



humaines". Après la photographie, le septième art a généralisé le principe de l'imitation du monde réel par l'imaginaire. 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 conjugué un univers virtuel -la planète Pandora- et un univers réel -la Terre- via le programme 'Avatar' qui permet de créer un être hybride par clonage d'un cerveau humain dans un corps humanoïde autochtone (Na'vi).

Nous pouvons dégager de ce premier exemple les caractéristiques du processus (i) une intention (ii) une certaine connaissance du monde, initialement en mémoire sous la forme d'identités structurantes (iii) une ouverture sur un monde tenu pour imaginaire (iv) une construction exploratoire de l'imitation imaginaire du monde réel, alliant cohérence et analogie (v) de nouvelles formes d'identités structurantes étendues aux imitations imaginaires (vi) une réflexivité (mémoire de la mémoire).

### 3.2. Les nombres : imaginaires et complexes

Les nombres dits réels sont, rappelons-le, composés d'une partie entière et d'une partie décimale finie ou infinie. Ils sont appelés ainsi en raison de leur capacité à pouvoir représenter n'importe quelle mesure d'une grandeur physique. Ils sont figurés par une droite réelle, avec une origine, une orientation et une unité de mesure, où chaque point correspond à un nombre réel dans le respect d'une structure dite topologique qui en définit l'ordre (Cauty, 1992). Cette figuration est la plus connue, mais la ligne droite pourrait aussi bien être enroulée en hélice sur la nappe d'un cône.

Les nombres imaginaires, dénommés  $i$ , sont des *imitations* des nombres réels, obtenus par transformation géométrique de la droite réelle (Flament, 2003) tout en préservant sa structure (rotation ou étirement, etc.). Les nombres imaginaires sont donc bien obtenus par *synthétisation humaine*. Ils leur *manquent* toutefois la capacité à pouvoir représenter n'importe quelle mesure d'une grandeur physique, étant donné qu'ils peuvent représenter des quantités impossibles telles que des racines carrées de valeurs négatives. "Toutes les expressions comme  $i$  [...] ne sont ni zéro, ni supérieurs à zéro, ni inférieurs à lui, ce qui nécessairement, les rend imaginaires ou impossibles." (Euler, 1770). Enfin, et cela achève de les situer à l'intérieur des frontières des sciences de l'artificiel, ils sont conçus dans le *but* de garantir "l'existence de  $n$  racines [solutions] complexes distinctes ou non pour tout polynôme de degré égal à  $n$ " (Argan, 1814). Autrement dit, dans le but de résoudre des équations pour lesquelles aucun nombre réel n'est susceptible de convenir. Les nombres complexes sont des nombres composés d'une partie réelle et d'une partie imaginaire, sous la forme  $z = a + i.b$  où  $a$  et  $b$  sont des nombres réels (Descartes, 1637).

L'impossibilité de résoudre une équation provient, comme le disait A. Einstein, de ce qu'on ne solutionne pas un problème avec les modes de pensée qui l'ont engendré. La mise en équations d'un problème consiste à poser les relations qui sont ensuite transformées pour faciliter la résolution (Bouleau, 2002). Il s'agit de relation liant d'une certaine manière des quantités numériques connues (avec certitude ou de manière probabiliste) à  $n$  autres quantités numériques inconnues. Les quantités numériques connues permettent de décrire un environnement externe, comme une situation économique ou un état physique de la matière, dans des conditions données. Les quantités numériques inconnues permettent de définir un environnement interne à travers des actions possibles, disons des variables de commande, comme une capacité de production, un prix de vente ou un volume à l'équilibre (Simon, 1996). Les quantités numériques inconnues susceptibles de solutionner le problème sont supposées être de même nature que les quantités numériques connues

servant à le poser. Pour être plus précis, disons qu'elles sont supposées être attachées à la même structure de corps algébrique (domaine dans lequel les opérations habituelles du calcul sont valables). Ce préalable génère un enfermement dans les modes de pensées initiaux, comme le montre la Figure 2 si l'on interprète l'univers connu comme étant celui des nombres réels dans l'image de gauche. Par exemple, l'équation  $x^2+1=0$  (autrement dit  $x^2=-1$ ) qui n'a pas de solution réelle (aucun nombre réel élevé au carré ne peut être négatif)<sup>3</sup>. Cette situation se généralise à travers les polynômes de degré égal à  $n$  (de la forme  $P(X) = a_nX_n + \dots + a_1X_1 + a_0$ ) qui n'ont pas toujours  $n$  solutions réelles.

Imaginer que les entités numériques inconnues puissent ne pas être nécessairement structurées comme les entités numériques connues, autrement dit qu'elles puissent l'être ou ne pas l'être, suppose de nouveaux modes de pensée. C'est E. Galois (Galois, 1976) qui a ouvert la voie en étudiant l'extension des structures. Il faut comprendre par extension des structures, l'engendrement d'une structure plus générale attachée aux solutions (les entités numériques inconnues) incluant la structure initiale attachée aux données du problème (les entités numériques connues). La Figure 2 en donne une représentation si l'on interprète l'univers étendu dans l'image de droite, comme étant celui des nombres complexes. L'extension des structures a pour effet de réduire le nombre de groupes d'automorphismes (c'est-à-dire de groupes au sein desquels les racines [solutions] sont indiscernables, disons de même identité) et donc de monter en généralités. "Cette méthode, vraiment digne de l'attention des géomètres, suffirait seule pour assurer à notre compatriote un rang dans le petit nombre des savants qui ont mérité le titre d'inventeur" (Liouville, 1846). L'étude des structures et de leur extension a pris une importance considérable dans de nombreux domaines, notamment en sciences exactes (Weyl, 1952-1984). Les nombres complexes ont permis de formaliser les phénomènes représentant des oscillations, des variations, des ondes, ou encore l'imagerie numérique et les hologrammes.

La structure d'ordre que la droite réelle confère aux nombres réels étant limitante, une copie imaginaire de cette droite est conçue artificiellement pour imiter les nombres réels et faire que l'univers des nombres soit réinventé comme un plan dit complexe<sup>4</sup>, où chaque point  $z$  représente un couple de nombres  $(a ; b)$ , convenablement liés l'un à l'autre ( $z = a + i.b$ ) et correspondant respectivement à la partie réelle 'a' et à la partie imaginaire 'i.b' du nombre complexe  $z$ , à l'instar de coordonnées cartésiennes. Raisonner en deux dimensions permet d'envisager cette nouvelle trame relationnelle plus générale en orientant l'exploration dans deux directions, réelle et imaginaire, simultanément. Jusque-là, la structure linéaire de la droite réelle devait rester unique. Sinon la structure d'ordre aurait été immédiatement défaits. C'est une règle de base (dite de contraction) en logique formelle: 'A et A' doit être ramené à 'A'. La droite réelle et sa copie imaginaire ne pouvaient donc pas être actives simultanément.

Nous pouvons constater que ce second exemple de nature purement scientifique confirme les caractéristiques du processus dégagé dans l'exemple précédent qui était de nature artistique. A ce stade, nous avons des raisons de penser qu'il est indépendant de la nature des objets auxquels il s'applique : (i) une intention : l'existence de  $n$  racines complexes pour tout polynôme de degré égal à  $n$  (ii) une certaine connaissance du monde, initialement en mémoire sous la forme d'identités structurantes : la droite réelle (iii) une ouverture sur un monde tenu pour imaginaire : les nombres imaginaires (iv) une construction exploratoire de l'imitation imaginaire du monde réel, alliant cohérence et analogie : la droite imaginaire (v) de nouvelles formes d'identités structurantes

<sup>3</sup> Le produit de deux nombres positifs donne un résultat positif. Le produit de deux nombres négatifs aussi.

<sup>4</sup> Gauss (Ouersighini, 2003).

étendues aux imitations imaginaires : le plan complexe (vi) une réflexivité (mémoire de la mémoire) : la droite réelle d'origine est incluse dans le plan complexe.

### 3.3. L'expérience revisitée de V. S. Ramachandran (1988)

V. S. Ramachandran est une éminence scientifique, mondialement connu pour ses recherches en neurosciences du comportement. L'expérience que nous allons revisiter (Ramachandran, 1988, p. 77) portait à l'origine sur la perception visuelle des ombres. Le dispositif correspondait à l'image de gauche de la figure ci-dessous (Cf Figure 1), avec six objets simples, sphériques, que de subtils dégradés de gris faisaient apparaître en relief. Ces objets semblaient présenter une convexité (courbure positive) à l'exception d'un seul, en bas au centre de la disposition, qui présentait une concavité (courbure négative) si l'on croyait devoir faire l'hypothèse de l'existence d'une source lumineuse au nord. Cela dit, en considérant la source lumineuse située au sud et moyennant une certaine gymnastique visuelle et mentale, les objets présentaient une concavité, à l'exception de celui situé en bas au centre de la disposition qui présentait une convexité. L'auteur concluait (i) que le sort des objets était solidarisé et que le raisonnement était donc global et non local (ii) que l'hypothèse d'une source lumineuse unique résultait d'une pensée conditionnée par l'existence d'un seul soleil dans le ciel.

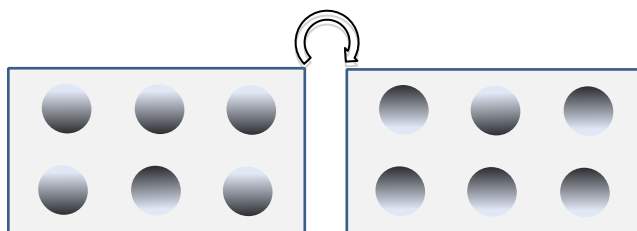


Figure 3 – Les objets sphériques

Lorsque la figure est retournée (Ibid, p. 78), tout objet initialement convexe sur l'image de gauche (cf Figure 3) apparaît concave sur l'image de droite et inversement tout objet précédemment concave apparaît convexe. Cette perception vient du fait que la source lumineuse dont l'observateur postule l'existence, est supposée fixe, au-dessus de la figure 3, tout au long de l'opération de retournement. Rien n'étant stipulé à ce propos, elle est donc à tenir pour imaginaire. Il suffit cependant de supposer la source lumineuse non plus fixe mais accompagnant le retournement de la figure pour que les objets apparaissent invariants (i.e. de même identité). Le phénomène conduit ainsi l'observateur à un exercice de réflexivité : il lui faut bien considérer sa position comme invariante pour être cohérent avec sa perception des choses, étant donné que s'il s'imaginait tourner avec la figure il ne se rendrait compte de rien. Il recherche une trame relationnelle – une relativité du mouvement – pouvant apporter une cohérence plus générale, en explorant dans deux directions, réelle et imaginaire, simultanément. De bout en bout, il procède par analogie, comparant ce qu'il a en mémoire, les objets les uns par rapport aux autres, avant et après retournement, les perceptions et les invariances.

Une fois encore, le processus d'imitation imaginaire du monde réel à l'œuvre dans ce troisième exemple, présente les mêmes caractéristiques que pour la photographie et les nombres complexes : (i) une intention : la perception humaine des ombres, les positions et les mouvements relatifs (ii) une certaine connaissance du monde, initialement en mémoire sous la forme d'identités structurantes : les objets et leurs positions relatives (iii) une ouverture sur un monde tenu pour imaginaire : l'existence d'une source lumineuse (iv) une construction exploratoire de l'imitation imaginaire du monde réel, alliant cohérence et analogie : relations dans l'espace et le temps, entre les objets, la source lumineuse et l'observateur, (v) de nouvelles formes d'identités structurantes

étendues aux imitations imaginaires : les invariances relationnelles entre les objets, la source lumineuse et l'observateur (vi) une réflexivité (mémoire de la mémoire) : la statique d'origine (positions d'objets solidarisés et leurs ombres) incluse dans une dynamique (mouvements d'objets solidarisés et leurs ombres).

#### **4. Conception de nouvelles représentations : théorie et cartouches du raisonnement**

Trois exemples ne font pas une généralité. Mais ils présentent des bases théoriques communes et peuvent permettre la formulation d'une théorie de la conception de nouvelles représentations. Une théorie est, rappelons-le, un ensemble organisé de principes, de règles, de lois scientifiques visant à décrire et à expliquer un ensemble de faits (*Larousse*). Plus formellement, on dit qu'une théorie est un ensemble consistant d'énoncés contenant toutes ses conséquences. En science, une théorie ne peut démontrer sa propre consistance. Pour être universellement valide, elle doit être prouvable. Sa vérification expérimentale (Popper & Al.) supposerait une infinité d'issues favorables (autant dire d'exemples favorables), ce qui est inenvisageable. A défaut, elle est donc construite à partir d'informations incomplètes et tenue pour vraie dans l'attente de sa contradiction, par un contre-exemple notamment (Tarski, 1969 ; Taleb, 2010). Un contre-exemple étant une expérience indéfiniment reproductible non-conforme à la théorie, qui peut suffire à la réfuter ou à la faire évoluer, sinon totalement au moins partiellement, pour qu'elle se révèle plus performante (Séguy-Duclot, 2011, p.117).

Une théorie peut être formulée (cf Figure 4) à partir des éléments d'architecture que le sujet semble mobiliser pour concevoir de nouvelles représentations de ses rapports avec lui-même, avec l'univers qu'il tient pour référentiel et avec les objets ou les phénomènes qu'il y observe ou avec lesquels il interagit. Ces éléments d'architecture sont les suivants : cohérence (rationalité), imaginaire (imitation), analogie (comparaison réel/imaginaire), mémoire (substrat de la connaissance), réflexivité (mémoire de la mémoire).

##### **4.1 Une théorie de la conception de nouvelles représentations**

La question de savoir comment nous concevons un objet, un outil, une stratégie, une organisation, un édifice, un projet de société, (etc.), intéresse les individus, les collectifs humains, les entreprises, les institutions, les états, l'humanité toute entière. Parce que les clés de la pensée conceptive sont les clés de l'anticipation, de la survie, de l'amélioration, de l'innovation. Toute théorie de la conception de nouvelles représentations, devrait pouvoir s'appliquer quelles que soient les cultures, les langues ou les espaces-temps.

Il serait plausible d'accorder une place à la raison et à nos sens, afin d'assurer une certaine cohérence à nos conceptions pour ne pas s'égarer en conjectures et en contradictions, cohérence avec le réel, avec l'expérience, pour concevoir un pont qui tient debout ou un voyage sur la Lune. Il est probable que nous accorderions une place à l'imaginaire, afin de pouvoir penser les choses autrement que de la manière dont nous les voyons habituellement, disons au travail de l'imagination, puisque travail il y a, étant donné que nous consommons de l'énergie en dormant et en rêvant. Nous accorderions une place à l'analogie forcément, puisqu'il faut bien comparer les choses avant et après, ce que l'on sait de ce que l'on savait, ce qui est ici et ce qui est là, ce qui est ici-bas de ce qui est tout là-haut dans l'esprit, à la fois donc dans le temps et dans l'espace. Pour cet exercice de comparaison, il nous faudrait pouvoir compter sur notre mémoire. Une place est à accorder au travail de la mémoire, pour pouvoir prendre conscience de l'effort à consentir, du progrès qui peut être accompli, du processus d'apprentissage, du travail sur soi, sur ses connaissances et sur ses ignorances. Il faudrait par conséquent aussi accorder une place à cet

exercice de réflexivité, par lequel on se prend pour objet de réflexion, pour pouvoir se mettre à la place de quelqu'un qui ne sait pas encore ce que l'on sait. Et pour se souvenir de ce qu'étaient nos connaissances avant notre apprentissage. Pour ces raisons, la réflexivité peut se comprendre, comme une mémoire de la mémoire. Cinq mots en somme : cohérence (construite avec notre raison et nos sens), imaginaire, analogie, travail de la mémoire et réflexivité. Une théorie pour apprendre à voir le monde, comme disait Platon, avec des yeux de géomètre. L'élément central semble en être le concept de liaison, au sens de lien (lien de dépendance, lien analogique, lien mémoriel, lien entre tous les liens, etc.) comme au sens de liant (humain, générationnel, etc.).

Etape 1 - définition de l'objet ou du phénomène dans l'univers de référence : penser une chose, lui donner une existence propre et la définir donc de façon précise est l'étape première vers l'abstraction et la simplification nécessaires pour rendre intelligible le réel. Certaines notions d'identité, d'invariance ou de symétrie permettent ensuite, de faire émerger des ensembles partageant certaines propriétés, avec certitude ou bien en probabilité. Une fois définie, la chose, qu'elle soit objet ou phénomène, sert de modèle et prend sa place dans la mémoire humaine avec une identité propre, identifiable et reconnaissable.

Etape 2 - imitation (identité) de l'objet ou du phénomène dans l'univers de référence : toute comparaison avec le modèle de référence (la chose définie) peut se faire objectivement, comme une mesure à l'aide d'un instrument par exemple. Mais le référentiel sera néanmoins subjectif en ce sens qu'il dépendra d'un choix, comme l'est par exemple l'incertitude attachée à toute mesure (au millimètre près, à vol d'oiseau, etc). Tout dépendra de l'échelle considérée et de ce que qui sera tenu, du même coup, pour négligeable. Il faut chaque fois pouvoir dire selon quelle définition et avec quelle incertitude, le modèle et son imitation imaginaire apparaissent de même identité. Toute conception humaine de l'identité des choses à partir d'un modèle, est artificielle et s'appuie sur l'édification d'un savoir collectif. Elle procède par un apprentissage d'actions partagées, disons par analogie ou par imitation (Rizzolatti & Sinigaglia, 2012). Du reste, en s'appropriant l'action d'autrui, chacun se rend compte des conséquences de sa propre action, au bénéfice de la conscience de soi. La connaissance du modèle et du geste à réaliser pour le concevoir, s'étend donc aux effets que nos propres actions produisent. Cette première étape a un caractère irréversible et doit être accomplie avec précaution. Pour imiter, il faut se projeter de l'autre côté du miroir, se mettre à la place de l'autre. La main droite devant le miroir correspond à la main gauche derrière le miroir. L'imitation gestuelle ne fonctionne pas sur la correspondance anatomique (main droite / main droite). C'est le principe de l'empathie, de la compréhension de l'action, du partage des émotions, de l'anticipation des intentions, etc.

Etape 3 - cohérence des représentations (liens avec les objets ou les phénomènes) dans l'univers de référence : la cohérence soutient le raisonnement de conception. Les règles du langage et du raisonnement doivent être consistantes autrement dit non-contradictoires. Toute déclaration (disons toute proposition) doit être décidable, c'est-à-dire vraie ou fausse. Utiliser le levier du raisonnement de conception suppose un point d'appui solide. Dans l'absolu, il ne faudrait jamais utiliser un terme sans le définir, ni avancer une proposition sans la démontrer. Mais une telle méthode est inapplicable puisqu'elle conduit à une régression à l'infini, un terme étant défini à partir d'autres termes plus primitifs et une proposition étant démontrée à partir d'autres propositions plus primitives. Une alternative consiste à renoncer à une forme de perfection et à concevoir autrement la rigueur, en ne rejetant pas les présupposés mais en les explicitant. On pose les termes et les axiomes (axioma signifiant 'je crois vrai'), sans préalable, puis on déroule le raisonnement, de sorte que les conséquences puissent être établies de manière conditionnelle, c'est-à-dire sous réserve que

les conditions initiales soient bien satisfaites. Les axiomes servent à introduire les choses sans en déterminer la nature, mais seulement les liens qu'elles entretiennent et qui s'expriment à travers leurs propriétés. Une telle conception scientifique perd en puissance. Elle ne peut prouver sa propre consistance en bâtissant une preuve à partir de ses propres matériaux, du fait qu'elle soit toujours conditionnée par des choix primitifs que sont les axiomes actés par décision méthodologique. Du coup, elle se démontre uniquement par défaut. Autrement dit, seule une conception scientifique contradictoire peut démontrer sa propre consistance.

Etape 4 - extension des représentations au-delà de l'univers de référence : l'édifice de la connaissance peut être cohérent, mais il est nécessairement incomplet. La quête d'une cohérence plus généralisante est sans cesse inachevée et conduit à revenir perpétuellement sur les choix axiomatiques originels. "Un bon axiome n'est pas un axiome qui s'impose à nous par une évidence immédiate, mais plutôt un axiome dont les conséquences se révèlent suffisamment riches, cohérentes et satisfaisantes pour s'imposer progressivement" (Dehornoy, 2007, p. 165). Prenons l'exemple de la géométrie dite Euclidienne. Rappelons qu'Euclide (III<sup>ème</sup> Av. J.-C.) a fondé l'école d'Alexandrie où il a enseigné. Il est l'auteur d'un célèbre ouvrage de l'histoire des mathématiques - Les éléments - une compilation du savoir géométrique de l'époque qui s'attache, en matière de conception, à ce qui est accessible dans le plan, avec la règle et le compas. Cette géométrie est un édifice cohérent, employé pour un acte immobilier notarié, une notice technique d'installation, etc. Sur Terre, la géométrie est localement plane sur de petites distances et pour s'orienter, il est possible de la choisir Euclidienne. Seulement voilà, à une plus grande échelle, sur une sphère, cette géométrie est inapplicable. Sur un plan, le plus court chemin entre deux points est la ligne droite et se trace à l'aide d'une règle. Sur une sphère, le plus court chemin est un arc de grand cercle (c'est-à-dire l'intersection de la sphère avec un plan passant par son centre) et la règle doit être flexible pour épouser la courbure. On parle alors de géométrie sphérique (Riemann, 1898). Suivant l'échelle considérée, la géométrisation de l'espace accessible change, comme les voies commerciales qu'on y trace. Il suffit de songer à la découverte des Amériques. L'incomplétude de chacune de ces géométrisations se traduit par un paradoxe apparent : en géométrie plane des droites parallèles ne se coupent jamais, tandis qu'en géométrie sphérique des géodésiques se rejoignent aux pôles (une géodésique est une généralisation de la droite sur une surface). En prenant appui sur les axiomes et les incomplétudes qu'ils induisent sous la forme de paradoxes apparents, il est donc possible de faire levier et de mettre en bascule une cohérence pour en soulever une autre plus puissante dans sa capacité interprétative et prédictive, de sorte que son aînée puisse y être plongée. Vue depuis l'intérieur de l'aînée, la nouvelle cohérence apparaît ex ante comme une extension en devenir, de nature imaginaire, où les paradoxes existants y seraient résolus.

Etape 5 – nouvelle cohérence des représentations dans l'univers supérieur des liens : la nouvelle cohérence des représentations est plus généralisante en ce qu'elle permet d'étendre, au-delà de l'univers référentiel, aux objets ou phénomènes artificiels obtenus par imitation (les intrus), un schéma relationnel jusque-là valable uniquement entre des objets ou phénomènes réels (les choses connues), à l'intérieur de l'univers référentiel. Nous pouvons illustrer ce potentiel conceptif de l'imitation imaginaire par l'exemple suivant : lorsque nous jouons au billard, il est possible de viser directement un trou, mais c'est plus compliqué s'il faut utiliser la bande et calculer mentalement un rebond pour l'atteindre. En accolant le billard à un miroir, la visée indirecte est très simple. Il suffit de viser le trou dans le billard-miroir et le rebond fait le reste dans le billard-réel. La visée directe et la visée indirecte procèdent alors d'un même principe (viser le trou réel ou le trou imaginaire suivant la situation rencontrée) et la loi gagne en généralité. La nouvelle cohérence des représentations doit se comprendre comme une métarelation d'identité. On la retrouve en

mathématique (Wright 1983 ; Fine, 2002 ; Tennant, 2004) et en sciences cognitives, "L'abstraction réfléchissante porte sur toutes les activités cognitives du sujet (...) pour en dégager certains caractères et les utiliser à d'autres fins (nouvelles adaptations, nouveaux problèmes, etc." (Piaget, 1977, p. 202). Un savoir peut ainsi être étendu à de nouveaux objets et un comportement à de nouvelles situations.

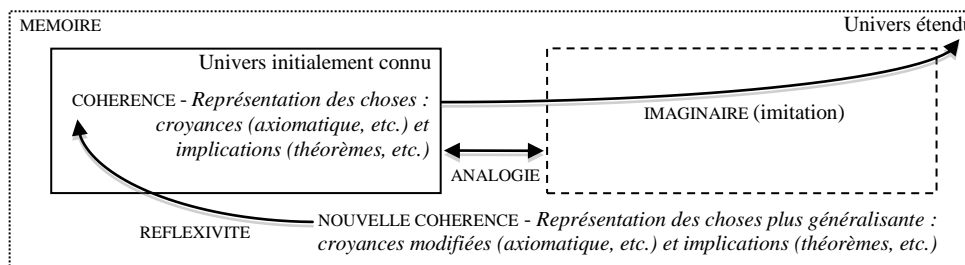


Figure 4 – Conception de nouvelles représentations

## 4.2 Bénéfices de la théorie proposée

La conception de nouvelles représentations par l'imitation imaginaire procure certains bénéfices : (i) elle procède à une extension de type relationnel qui minimise le travail de la mémoire et donc la consommation d'énergie (ii) elle introduit une irréversibilité qui augmente l'espace de compréhension accessible et l'espace des vitesses de compréhension accessibles (iii) elle ouvre de nouveaux horizons d'apprentissage.

Concernant le premier point, de manière très schématique, nous dirons que l'extension de type relationnel consistant à explorer les trames de relations transposables indifféremment entre les choses réelles et leurs imitations imaginaires, à la recherche d'identités plus généralisantes, est la moins consommatrice d'énergie. En mathématiques, le formalisme des nombres imaginaires est d'ailleurs parfaitement adapté pour décrire les phénomènes variationnels ou ondulatoires. Une image peut en effet être mémorisée sous deux formes numériques : (i) une forme élémentaire avec une résolution spatiale prédéfinie (visualisation pixellisée sur écran, impression sur papier) qui impose un choix de format consommateur d'espace mémoire (ii) une forme relationnelle sans résolution spatiale prédéfinie qui permet une manipulation de l'image ou une superposition aisée de différents formats, en occupant une faible place mémoire. L'image d'un cercle (forme élémentaire) et l'équation d'un cercle (forme relationnelle) n'occupent pas la même place mémoire dans un ordinateur. Ces considérations sont corroborées par les résultats des expériences de A. de Groot sur la perception des jeux d'échecs (Simon, 1996). L'expérience consistait à présenter des situations tirées de parties réellement disputées ou purement aléatoires, à des débutants ou à des maîtres. L'épreuve exigeait de retrouver la disposition d'une vingtaine de pièces. Suivant le caractère aléatoire ou non de la disposition initiale, les performances des maîtres et des débutants différaient ou pas. Les résultats suggéraient fortement que l'information représentant l'échiquier était emmagasinée sous la forme de relations entre les pièces plutôt que comme un balayage d'écran de télévision des 64 cases. Si la décidabilité d'une situation exige de pouvoir faire des choix et de les inscrire à dessein dans le monde réel (par exemple, choisir un format d'impression), l'indécidabilité ouvre la possibilité d'explorer la superposition des relations entre le monde réel et son imitation imaginaire. La superposition d'états est connue en science (état quantique). Un mésomère se définit comme "le caractère d'un composé chimique dont l'état réel de la molécule n'est pas exactement représentable par une formule développée unique, mais est intermédiaire entre les états fictifs correspondant à plusieurs formules qui diffèrent non par la disposition spatiale des atomes mais par la répartition des électrons de liaison" [Larousse, 2014].

Concernant le second point, il faut bien voir que l'état mémoriel enregistrant une nouvelle représentation conçue par extension de son aînée, contient nécessairement l'état mémoriel ou disons plutôt une copie de l'état mémoriel où cette dernière était enregistrée. C'est une mémoire de la mémoire. Un effacement de l'état mémoriel final entrainerait du même coup un effacement de la copie de l'état mémoriel initial inclus au cours de l'opération d'extension, rendant de ce fait impossible toute réversibilité. Il nous serait par exemple impossible d'effacer de notre mémoire un mot et de revenir à son origine la plus anciennement attestée, car cela supposerait d'effacer l'univers linguistique connu et de revenir à une langue éteinte. La conception de nouvelles représentations par l'imitation imaginaire a aussi pour effet d'augmenter l'espace de compréhension accessible et la vitesse de compréhension accessible, disons pour être précis, l'espace des vitesses de compréhension accessibles (Giacomoni, 2018). Ces deux transformations peuvent s'interpréter comme une augmentation respectivement spatiale (Clausius, 1868) et cinétique (Maxwell & Boltzman, 1902) de l'entropie<sup>5</sup>. L'interprétation entropique d'un changement d'états mémoriels débouchant sur une nouvelle représentation plus généralisante permet de modéliser le phénomène d'un point de vue thermodynamique (point critique, diagramme entropique, etc.) à des fins d'optimisation managériales ou pédagogiques. D'autant que le concept d'entropie est déjà présent en sciences de l'information avec la théorie de Shannon qui permet de quantifier le contenu en information d'un ensemble de données (Shannon, 1948).

Concernant le troisième point, il apparaît comme un angle mort dans la capacité à concevoir de nouvelles représentations si elle est supposée n'être qu'une question de travail, de coup de génie et de coup de chance. Son succès échappe alors à tout apprentissage et à toute décision méthodologique. Et il est impossible de la transmettre ou de 'préparer les esprits' comme aurait dit L. Pasteur : "dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés" (Pasteur, 1854, p. 131). Il voyait dans les sciences expérimentales une approche méthodologique féconde, "l'innovation la plus heureuse introduite dans les Facultés de sciences" (Ibid, p. 129) et faisait tous ses efforts pour les populariser. Il devrait en être de même des sciences de l'artificiel ainsi que le disait H. Simon et d'une théorie de la conception de nouvelles représentations. "Nous n'oublions point que la théorie est mère de la pratique (...) et que la théorie seule fait surgir et développe l'esprit d'invention." (Ibid, p. 131). Si les projets d'innovation étaient conçus de cette façon dès la genèse des idées, leurs potentialités de conversion en réalités économiques et industrielles seraient augmentées, comme l'ont notamment montré les expériences conduites en partenariat avec la Chambre Franco-Allemande de Commerce et d'Industrie (Giacomoni, 2013). En l'absence de théorie de la conception de nouvelles représentations, les stratégies se portent sur la sélection de portefeuille pour minimiser les risques et maximiser les gains (Markowitz, 1952). Il faut savoir en effet que les deux tiers des innovations sont rejetés par la société<sup>6</sup> et que 90% des startups échouent<sup>7</sup>.

## Conclusion

L'imitation imaginaire du monde réel intervient dans le processus de conception de nouvelles représentations, aussi bien à l'échelle individuelle que collective. Il s'agit d'une technique d'abstraction très puissante applicable à toute forme d'activité humaine (intelligence artificielle, mondes virtuels, biomimétique, etc.) et qui est un trait caractéristique de la conception innovante.

---

<sup>5</sup> Terme construit par Clausius à partir du préfixe 'en' (tiré d'énergie) et du mot grec tropê (qui signifie transformation). Cette notion désigne le "contenu de transformation" et sa fonction essentielle est de caractériser une transformation d'un système d'un point de vue qualitatif, indépendamment de son aspect énergétique (point de vue quantitatif).

<sup>6</sup> Source : Giget M., (2014), *Revue de prospective de l'APCE*, N°7, février.

<sup>7</sup> Source : *CB Insight* (2016)



Nous avons choisi de rendre compte de ce processus par les sciences de l'artificiel (première partie). La revue de littérature des approches scientifiques de l'imitation imaginaire (seconde partie) s'est consacrée d'abord à la construction artificielle de l'identité des choses à travers le miroir de la pensée, puis à la modélisation et au modelage des imaginaires. Trois exemples à visée pédagogique ont été développés (troisième partie) pour comprendre l'imitation imaginaire et le rapport à la conception innovante : la photographie (conception artistique), les nombres imaginaires (conception scientifique), l'expérience de perception visuelle de V. S. Ramachandran revisitée (conception cognitive). Nous avons ensuite discuté (quatrième partie) des bases théoriques de la conception artificielle de nouvelles représentations et des cartouches du raisonnement, à savoir cohérence, imaginaire, analogie, mémoire, réflexivité, qui interviennent à partir du moment où les choses doivent être définies dans un univers référentiel (étape 1), imitées dans un univers imaginaire (étape 2), représentées de manière consistante et fatalement incomplète (étape 3) jusqu'au moment où leur représentation peut s'étendre d'un univers à l'autre (étape 4) pour gagner en puissance explicative et prédictive ainsi qu'en généralité (étape 5). Ce processus introduit une irréversibilité qui augmente l'espace de compréhension accessible et l'espace des vitesses de compréhension accessibles, ouvrant ainsi de nouveaux horizons d'apprentissage. Du reste, il minimise le travail de la mémoire et sa consommation d'énergie.

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 (Giacomini et Jardat, 2014, p.3 ; de Beaune, 2008, p.7). Apprendre à innover, pour ne pas entièrement dépendre d'autrui, est un enjeu stratégique et la conception de nouvelles représentations tient dans cet apprentissage un rôle clé.

## Références bibliographiques

- Aloui A. et Djeridi R., 2009, "We are designers because we can abstract", Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design, Cranfield University, 30-31 March, pp. 377.
- Argan, J.-R., 1814, "Réflexions sur la nouvelle théorie des imaginaires", *Annales de Gergonne*, t. V,
- Bachelard G., 1993, *L'Eau et les rêves. Essai sur l'imagination de la matière*, Paris, [1942].
- Balandier G., 2001, *Le Grand Système*, Fayard.
- Beaune S. A. de, 2008, *L'homme et l'outil*, CNRS Editions,
- Benyus M.J., 2011, *Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durables*, broché, France
- Boniface J., 2004, *Hilbert et la notion d'existence en mathématiques*, Librairie philosophique J. Vrin, France
- Bouleau N., 2002, *La règle, le compas et le divan*, Editions du seuil, Paris, p.155.
- Bourgne R. et Azra J.-P., 1976, *Evariste Galois : Ecrits et mémoires mathématiques*, Gauthier-Villars, Paris,
- Carosella E. D. et Pradeu T., 2010, *L'identité, la part de l'autre. Immunologie et philosophie*, Odile Jacob (Eds), Sciences (Coll.), Paris.
- Caron F., 2011, *Les voies de l'innovation. Les leçons de l'histoire*. Manucius (Eds).
- Cauty A, 1992, "regards croisés sur la droite réelle : quelle concrétisation des ensembles de nombres pour l'éducation bilingue amérindienne ?", *AMERINDIA*, n°17,
- Chambert-Loir A., 2005, *Algèbre corporelle*, Les Editions de l'Ecole polytechnique, Paris.
- Colombani J., 1993, HLA. *Le complexe majeur de présentation et d'histocompatibilité humain. Fonctions immunitaires et applications médicales*, Libbey J. Eurotext (Eds), médecine, sciences, Dausset J. (Préface), London.
- Coutard O., 2001, "Imaginaire et développement des réseaux techniques. Les apports de l'électrification rurale en France et aux États-Unis", *Réseaux*, n° 109, pp. 77-94.
- Dagognet F., 1989, *Eloge de l'objet. Pour une philosophie de la marchandise*, vrin – problèmes et controverses.
- Dehornoy P., 2007, "Au-delà du forcing : la notion de vérité essentielle en théorie des ensembles", in Joinet J.-B. (dir.), *Logique, dynamique et cognition*, Editions de la Sorbonne, Logique, langage, sciences, philosophie (Coll.), Paris, pp.147-169.
- Delahaye J.-P., 2003, "Ressemblance entre objets", *Revue d'Intelligence Artificielle*, 17,
- Descartes R., 1637, *Réflexions sur la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*, Ian Maire (Impr.),
- Diamonstein B., 1981, "An Interview with Garry Winogrand" in *Visions and Images - American Photographers on Photography*. Rizzoli, New York, p.181,
- Durand G., 2016, *Les structures anthropologiques de l'imaginaire*, (12e éd.), Hors Coll., Dunod.
- Durand Y., 1988, *L'exploration de l'imaginaire. Introduction à la modération des univers mythiques*, Espace bleu, Collection : bibliothèque de l'imaginaire,
- Durand Y., Sironneau J.-P., A. A. Filipe, 2015, *Variations sur l'imaginaire. L'épistémologie ouverte de Gilbert Durand. Orientations et innovations*, EME éditions, Transversales philosophiques, Sciences Humaines, L'Harmattan.
- Euler L., 1770, "Des Herrn Leonhard Euler nöthige Bererchnung zur Einrichtung einer Wittwencasse", *Neues Hamburgisches Magazin*, Leipzig, 43, n°2, 1-13,
- Fine K., 2002, *The Limits of Abstraction*, Oxford University Press,
- Flament D., 2003, *Histoire des nombres complexes : Entre algèbre et géométrie*, Paris, CNRS Éditions,
- Frege G., 1994, *Ecrits logiques et philosophiques*, trad. Imbert C., Ed. du Seuil
- Frege G., 1884, *Grundlagen der Arithmetik. Eine logisch-mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl* (GRL). Breslau, Koebner (Hildesheim, Olms, 1961). Trad. & introd. C. Imbert, (1969), *Les Fondements de l'arithmétique. Recherche logico-mathématique sur le concept de nombre*, Le Seuil,
- Garçon A.-F., 2003, "Auto mobiles, auto coincées. L'innovation et ses temporalités", et ID., "La Voiture électrique dans la *Nature* (1890-1900). Approche micro-historique d'un échec technique", *Cahiers François-Viète*, 5, pp. 17-43.

- Giacomoni G., 2018, "Constructing new representations and the implications for decision-making theory: learning from Archimedes", section: New Concepts and Ideas for Management, *European Management Review*, Wiley.
- Giacomoni G., 2013, "Recherche et formation au management de l'innovation", in "Recherche et Développement", Revue *Contact*, Chambre Franco-Allemande de commerce et d'industrie, Sept.-Oct., pp.28-29,
- Giacomoni G. and Sardas J.-C., 2014, "Why innovation requires new scientific foundations for manageable identities of systems" (Part II – Chap.4), in *R&D Strategy and Operations - Innovation and IT in an International Context*, T'Eni D. and Rowe F. (Eds), Palgrave MacMillan (Publisher),
- Giacomoni G. et Jardat R., 2014, "L'innovation par l'hybridation : une hydre scientifique", in Pesqueux Y., Freitas Gouveia de Vasconcelos I., Simon E. *L'entreprise durable et le changement organisationnel L'organisation innovatrice et durable*, éditions - ems - Management & Société, 410 p. – Chap. 1 (pp. 27-54), hors collection,
- Gille B., 1979, "La notion de 'système technique' (essai d'épistémologie technique)", *Culture technique*, n°1, pp. 8-18.
- Girard J.-Y. et Turing A., 1999, *La machine de Turing*, Seuil (Eds), Points Sciences.
- Heidegger M., 1958, "La question de la technique", *Essais et Conférences*, Gallimard, p.17.
- Heidegger M., 1962, *Chemins qui ne mènent nulle part*, Gallimard, p.65-66.
- Jarrige F. et Morera R., 2005, "Technique et imaginaire", *Hypothèses* 1, p.163-174.
- Jouvent R., 2013, *Le Cerveau magicien: De la réalité au plaisir psychique*, Odile Jacob.
- Jouvent R., 2015, *Les rêveries du cerveau: Emotions et technologies*, Manucius (Eds.).
- Köhler W., 1929, *Psychologie de la forme*, Paris, Gallimard (coll. "idées").
- Liouville J., "Œuvres Mathématiques d'Evariste Galois, suivies d'un avertissement de Liouville", *Journal de mathématiques pures et appliquées*, vol. XI, 1846.
- Maffesoli M., 2014, *imaginaire et postmodernité*, Manucius (Eds), France.
- Markowitz H., 1952, "Portfolio Selection", *The Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1. (Mar., 1952), pp. 77-91.
- Mingozzi F, Anguela XM, Pavani G, Chen Y, Davidson RJ, Hui DJ, Yazicioglu M, Elkouby L, Hinderer CJ, Faella A, Howard C, Tai A, Podsakoff GM, Zhou S, Basner-Tschakarjan E, Wright JF, High KA., 2013, "Overcoming preexisting humoral immunity to AAV using capsid decoys", *Science Translational Medicine*, Jul. 17, n°5, Issue 194.
- Musso P., Coiffier S. et Lucas J.-F., 2014, *Innover avec et par les imaginaires*, Coll. "Modélisation des imaginaires", Manucius (Eds.).
- Miller W. L. and Morris L., 1999, *4th Generation R&D : Managing Knowledge, Technology, and Innovation*, John Wiley & Sons.
- Musso P., Coiffier S. et Lucas J.-F., 2014, *Innover avec et par les imaginaires*, Coll. "Modélisation des imaginaires". Eds Manucius, France.
- Musso P., Coiffier S. et Lucas J.-F., 2015, *Pour innover, modéliser l'imaginaire. Regards croisés d'industriels et de chercheurs*, Coll. "Modélisation des imaginaires". Eds Manucius, France.
- Muchielli A. 2013, *L'identité*, Que sais-je ? n° 2288, PUF.
- Neumann (von) J., 1966, "*The Theory of Self-reproducing Automata*", A. Burks, ed., Univ. of Illinois Press, Urbana, IL.
- Ouersighini, J., 2003, *A quoi servent les mathématiques ?*, l'Harmattan, p. 104.
- Pasteur L., 1854, in *Installation solennelle de la Faculté des Lettres de Douai et de la Faculté des Sciences de Lille, Mélanges Scientifiques et littéraires*, Douai, Impr. A. d'Aubers., broch. de 31 p., in-8°. 7 déc.,
- Piaget J., 1962, *Play, dreams, and imitation in children* (Original work published in French, 1927). London: Routledge Kegan Paul.
- Piaget, J. et coll., 1977, "Recherches sur l'abstraction réfléchissante : L'abstraction des relations des relations logico-arithmétiques. Études d'épistémologie génétique", *E.E.G.*, Vol. 34, Vol. XXIV., Paris, PUF.
- Riemann B., 1898], *Œuvres mathématiques de Riemann*, Laugel L. (trad.), Gabay J. (Eds), réédition 1990, Sceaux.
- Rizzolatti G. et Sinigaglia C., 2011, *Les neurones-miroirs*, Odile Jacob.
- Scardigli V., 1989, "Nouvelles technologies: l'imaginaire du progrès", in *L'imaginaire des techniques de pointe. Au doigt et à l'œil*, Gras A. et Poirot-Delpech S. (Dir.), L'Harmattan, Paris, pp. 97-114.

- Scardigli V., 2013, *Imaginaire de chercheurs & innovation technique*, Broché, Editions Manucius, Paris.
- Schatzberg E., 1999, *Wings of Wood, Wings of Metal. Culture and technical Choice in American Airplane Materials, 1914-1945*, Princeton.
- Schrödinger E., 1992, *Physique quantique et représentation du monde*, Le Seuil, coll. "Points-Sciences".
- Sfez L., 2002, "La technique comme fiction", *European Journal of Social Sciences*, (On line) XL-123: La société de l'information. État des lieux, XVIII<sup>e</sup> colloque annuel du Groupe d'Étude "Pratiques Sociales et Théories", Berthoud G. (Eds), pp. 65-74.
- Simon H.A., 1996, *The science of the artificial*, MIT Press, Cambridge.
- Simondon G., 1958, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier (Eds), Paris: France.
- Tappenden J., 1995, "Extending Knowledge and 'Fruitful Concepts': Fregean Themes in the Foundations of Mathematics", *Noûs*, Vol.29, n°4, (Dec.), pp.427-467, Wiley (Publisher).
- Tennant N., 2004, "A general theory of abstraction operators", *The Philosophical Quarterly*, Vol. 54, n°214.
- Thorndike E.L., 1898, "Animal intelligence: An experimental study of the associative processes in animals", *Psychological Monographs: General and Applied*, 2(4), i-109.
- Tomasello M., Savage-Rumbaugh S., Kruger A., 1993, "Imitative learning of actions on objects by children, chimpanzees, and enculturated chimpanzees", *Child Dev* 64, 1688-1705.
- Weyl H., 1952-1984, *Symétrie et mathématiques modernes*, Flammarion, Paris.
- Wright C., 1983, *Frege's Conception of Numbers as Objects*, Aberdeen.
- Wunenberger J.-J. 2011, *L'imagination mode d'emploi. Une science de l'imaginaire au service de la créativité*, Manucius (Eds.).