

Chapitre

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

Gilbert Giacomoni

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'inscrit 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 & Sinigaglia, 2011] explique les mécanismes de l'imitation, de la saisie des intentions et des représentations d'action, qui permettent 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. Nous nous intéressons ici à ce qu'apporte l'expérience d'imitation du monde réel par l'imaginaire. 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,...), en médecine (clonage, génériques, leurrex hormonaux,...) ou en biomimétique [Benyus, 2011; Delahaye, 2003], d'où le titre choisi pour ce chapitre.

Les sciences 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 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. Par suite, il est une sorte de rêverie, une projection dans un temps ou un espace éloignés d'une réalité souhaitée (...)*" [Jarrige & Morera, 2005]. En échappant aux réalités de ce monde, l'imaginaire échappe 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]. Ces 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'. 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. "*Quiconque imagine quelques dispositions visant à changer une situation existante en une situation préférée, est un concepteur*" [Simon, 1969, p.111]¹. La volcanologie par exemple, relève des sciences du naturel et n'interroge pas les intentions de la nature. 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 mode indicatif présent « sont » et le mode conditionnel « pourraient » renvoient chacun à deux formes de raisonnement distinctes en rapport avec notre connaissance des états du monde. Une conception humaine telle que les statistiques distingue de ce point de vue, les statistiques descriptives (d'une population) et les statistiques prévisionnelles (échantillonnage, estimation, simulation, etc.).

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*" [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 a pour but d'adapter leurs caractéristiques à un environnement de destination différent. Et 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. A l'intérieur des frontières des sciences de l'artificiel telles que les posent

¹ Trad. Le Moigne J.-L. ("Everyone designs who devises courses of action aimed at changing existing situations into preferred ones")

Simon H. [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.

Le passage, dans un sens ou dans l'autre, des sciences de l'artificiel aux sciences du naturel, tient à la séparabilité formelle² du concepteur et de la conception. 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, semble-t-il, inséparable de la dimension cognitive et intentionnelle du concepteur. Par conséquent, il est raisonnable de considérer l'imitation imaginaire d'après les sciences de la conception. Nous devrions ainsi pouvoir remonter à la genèse des idées, restée jusqu'ici relativement inaccessible aux sciences du naturel.

L'imitation imaginaire : une chrysalide qui révèle notre rapport au monde

L'imitation n'est jamais parfaite étant donné qu'elle dépend de ce que l'on sait de la chose dont elle s'inspire. Elle nous donne donc à en comprendre son identité ainsi que ses rapports avec le sujet (qui imite ou évalue) et avec l'environnement (pour saisir la notion de ressemblance et de différence avec toutes les autres entités). Il suffit de penser à une reprise d'une œuvre musicale, où l'environnement est parfois même présent à travers des enregistrements réels (pluie, sons de la ville, ...). Tout le monde n'imites pas de la même manière suivant le lieu et suivant l'époque. Il faut en effet pouvoir dire en quoi l'original et son imitation apparaissent de même identité et cela dévoile un état de l'art et des connaissances. "*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]. Autrement dit, le processus d'imitation est une relecture du monde guidée par une intention et qui révèle l'imitateur. Les Grecs avaient conceptualisé ce processus par le terme de *mimesis* (Démocrite, Socrate, Aristote). Ce dernier propose 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 la conception sont actives. La Tekhnè [Heidegger, 1962, p.65-66] dévoile la chose à produire telle qu'elle a été conçue, l'essence de l'œuvre, de la création. Elle est associée à l'Épistémè, la connaissance.

Avant de discuter, dans la partie suivante, les lois générales qui gouvernent l'imitation imaginaire, toujours à l'appui des sciences de la conception, nous allons dans la partie présente, partir d'un premier exemple à visée pédagogique : la photographie. La photographie est une imitation de nature imaginaire du monde réel. Quel que soit le procédé employé, chimique ou numérique, l'image ne peut être interprétée que par ceux qui ont une certaine connaissance du monde réel photographié. Une image radiographique par exemple, n'est interprétable que par un professionnel. Nous dégagerons de ce premier exemple les caractéristiques du raisonnement de conception qui est à l'œuvre. Nous développerons ensuite un second exemple emprunté aux mathématiques. Il s'agira donc d'une conception purement scientifique, un espace de nombres dits complexes, en partie réelle et en partie imaginaire [Descartes, 1637; Flament, 2003]. 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 vertu pédagogique de ce second exemple est de montrer que le raisonnement de conception de ces nombres, satisfait aux mêmes caractéristiques que celui tenu dans l'exemple précédent de la photographie. Par conséquent, nous aurons à ce stade des raisons de penser que les caractéristiques fondamentales de l'imitation par l'imaginaire, peuvent être formulées indépendamment de la nature des applications à travers lesquels elles s'expriment.

La photographie

Imitation par l'image, la photographie est, convenant-en de nature imaginaire. "*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*. 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

² Qui ne s'adresse qu'à la forme c'est-à-dire aux relations externes qu'entretiennent les éléments d'un raisonnement [Girard, 1999].

de faits, les transforme³. 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. L'exploration (amorces de relations, ambiguïté, indépendance apparente,...) est orientée dans deux directions actives simultanément dans le monde réel et, c'est nouveau, dans le monde irréel. 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. C'est pour cette raison que la communication de l'objet photographié change notre compréhension de l'objet naturel. L'intention de la photographie est précisément de concevoir cet espace nouveau en partie réelle et en partie imaginaire. 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*".

Nous voyons bien que, sur le plan méthodologique, nous nous intéressons à la métastructure des relations qui s'interposent entre l'objet, le sujet et l'environnement. Autrement dit, nous nous intéressons aux relations entre des relations, lesquelles incluent les relations de réflexivité entre le sujet et lui-même (avant/après). Nous pouvons préciser l'architecture du raisonnement qui est à l'œuvre : cohérence (rationalité), imaginaire (imitation), analogie (comparaison réel/imaginaire, avant/après), mémoire (travail de l'avant avec l'après) et réflexivité (mémoire de la mémoire).

Les nombres 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 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...). 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. 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 équations⁴ pour lesquelles aucun nombre réel n'est susceptible de convenir. La structure d'ordre dans lequel ils sont tous tenus de s'inscrire, aussi bien ceux utilisés par le sujet comme paramètres fixant l'équation d'après l'environnement, que ceux manquants à l'appel pour la compléter, est limitante. Or, cette structure d'ordre leur concède une identité commune. Une droite réelle et sa copie imaginaire ne peuvent pas être actives simultanément car la cohérence structurelle d'ordre s'en trouverait immédiatement défectueuse. De même qu'un objet réel ne peut pas être confondu avec son image photographique (acheter un ordinateur n'est pas la même chose que d'acheter son image). "*Toutes les expressions comme i [...] sont des nombres impossibles ou imaginaires; puisqu'ils représentent les racines carrées de quantités négatives; de ces nombres nous pouvons seulement affirmer qu'ils ne sont ni zéro, ni supérieurs à zéro, ni inférieurs à lui, ce qui nécessairement, les rend imaginaires ou impossibles.*" [Euler, 1770]. La structure linéaire de la droite réelle doit rester unique. C'est une règle de base (dite de contraction) en logique formelle ' A et A ' est ramené à ' A '. Pour que la droite réelle et sa copie imaginaire puissent être actives simultanément, il faut envisager une nouvelle trame relationnelle plus générale et donc orienter l'exploration dans ces deux directions, réelle et imaginaire. Cela revient à raisonner dans le plan engendré par ces deux droites (dit plan complexe)⁵. Le plan fait correspondre chacun de ses points avec un couple de nombres, convenablement liés l'un à l'autre et représentant respectivement la partie réelle et la partie imaginaire du nombre complexe, à l'instar de coordonnées cartésiennes. Cette représentation de l'univers des nombres par un plan complexe est plus généralisante que la droite réelle initiale. Nous retrouvons du reste, les cartouches caractéristiques du raisonnement de conception : cohérence, imaginaire, analogie, mémoire et réflexivité.

Loi générique et cartouches du raisonnement

³ La Gestalt-théorie [Köhler, 1929] s'est d'ailleurs intéressée à la structure des relations (structuralisme) qui permettent d'interpréter les objets ou les situations grâce à une organisation spécifique de nos observations.

⁴ Relation de dépendance liant d'une certaine manière des entités numériques connues (avec certitude ou de manière probabiliste) permettant de décrire l'environnement externe, à n autres entités numériques inconnues permettant de définir l'environnement interne à travers les actions possibles (variables de commande). L'équation $X^2 + 1 = 0$ (trouver la grandeur du côté d'un carré dont la surface est négative et égale à -1) n'a pas de solution réelle.

⁵ Gauss [Ouersighini, 2003].

Nous nous limiterons à discuter ici d'une loi générique et des cartouches du raisonnement tels qu'ils émergent à travers les exemples précédents (photographie; nombres complexes). Les fondements scientifiques nécessitent des approfondissements qui tiennent difficilement dans les limites de ce chapitre d'ouvrage [Giacomoni & Sardas, 2014; Giacomoni & Jardat, 2014].

Loi générique

Notre compréhension du monde réel est au reflet de nos connaissances et de nos structures mentales. L'imitation imaginaire retient toute l'information nécessaire et suffisante pour construire la relation d'identité en délaissant les informations tenues pour indépendantes (l'existence d'une dimension indépendante est donc bien établie dès l'origine). Cette considération de dépendance ou d'indépendance est évidemment relative au sujet et à ce qu'il sait des relations entre l'objet et l'environnement. Ces relations sont souvent d'ailleurs caractérisées par des propriétés dites de situation⁶. Par exemple la propriété poids rend compte des effets que les objets ont les uns sur les autres dans un milieu donné. L'imitation imaginaire questionne l'indépendance informationnelle, dans la mesure où l'objet artificiel est conçu dans une intention donnée, intention exprimée en termes de buts ou d'adaptations. L'imitation imaginaire pointe en fait sur une information hors cadre, sur quelque chose tenu pour indépendant et qu'on ne peut donc pas voir. Sans elle, il ne serait même pas possible de savoir qu'il existe comme un vice caché, lointain et indirect, dans la construction de l'édifice de nos connaissances.

La loi générale est exprimée de longue date et dans toutes les mythologies à travers la symbolique du miroir qui démultiplie⁷ 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, Héphaïstos,...). En physique, un champ électrique produit par un électron-miroir est l'image dans le miroir du champ produit par l'électron. En revanche le champ magnétique produit par le mouvement de l'électron-miroir est inversé par rapport au champ devant le miroir. Si nous jouons au billard, il est nous 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 et la loi gagne en généralité: viser le trou réel ou le trou imaginaire suivant la situation rencontrée et l'intention poursuivie (trajectoire directe ou indirecte). Ces principes trouvent leur expression dans le domaine de la vie artificielle [Lipson et Pollack, 2000] : "*Machine replication works in three steps : (1) Machine P (parent) reads the blueprint and makes a copy of itself, machine C (child) ; (2) Machine P now puts its blueprint in the photocopier, making a copy of the blueprint ; (3) Machine P hands the copy of the blueprint to machine C. Note the blueprint is used in two ways, as active instructions and as passive data*" [von Neumann, 1966].

Le processus d'imitation par l'artificiel œuvre à la transformation d'un état initial de notre connaissance du monde en un état final plus généralisant, où l'identité initiale des choses est redéfinie selon le dessein poursuivi. Entre l'état initial et l'état final, le processus régénératif relève des sciences de l'artificiel, tandis que les états eux-mêmes sont descriptibles par les sciences de la nature. La fin du processus tient à la séparabilité formelle du concepteur et de la conception. Au cours du processus, l'objet artificiel exige de reconcevoir les rapports d'identité et de dépendance entre l'objet, le sujet et l'environnement, de sorte que les rapports établis entre des objets réels (connus) puissent s'étendre - indifféremment - aux objets artificiels obtenus par imitation (intrus). Cette phase transitoire à la recherche d'une nouvelle cohérence plus généralisante - à savoir une métarelation visant à pouvoir étendre à l'intrus un schéma relationnel connu - est inséparable de la dimension cognitive et intentionnelle qui guide le concepteur. 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].

Cartouches du raisonnement

Nous avons montré comment un savoir pouvait être étendu à de nouveaux objets et comment un comportement pouvait l'être à de nouvelles situations. Ceci constitue le potentiel conceptif de l'imitation imaginaire. L'exploration relationnelle à la recherche d'une métarelation faisant sens, qu'il s'agisse indifféremment d'objets réels ou d'imitations imaginaires, met en évidence les cartouches du raisonnement : cohérence, imaginaire, analogie, réflexivité et mémoire. Plutôt que de mémoire nous devrions peut-être parler de transformation mémorielle de l'information. Nous avons à

⁶ Les propriétés intrinsèques ne sont envisagées que lorsque l'objet et l'environnement sont confondus [Lautman, 2006].

⁷ La démultiplication infinie de l'image génère une identité de nature ondulatoire, indépendante de l'échelle considérée, comme l'est une identité fractale. Une onde circulaire sur un lac par exemple se définit bien par l'écart séparant deux vagues successives, quelles que soient leurs circonférences.

plusieurs reprises employé le terme d'information. Il convient d'en donner la raison. Le terme d'information se compose de 'in' [dans], 'forma' [ensemble des caractéristiques extérieures de quelque chose], '-atio' [suffixe marquant l'action de] [Larousse, 2012]. L'information "*est ce qui nous apporte une connaissance qui modifie notre vision du monde, qui réduit notre incertitude*" [Reix et al., 2000]. De manière très schématique, nous dirons que l'exploration de type relationnel (faire varier les relations) est la moins consommatrice d'énergie (i.e de travail). Ce qui peut expliquer le recours à l'imaginaire (d'ailleurs mathématiquement lié aux phénomènes variationnels, p.6). En effet, à l'instar d'une image que l'on peut mémoriser sous deux formes numériques, élémentaire (résolution spatiale prédéfinie) ou relationnelle (résolution spatiale non prédéfinie). La mémorisation relationnelle permet, lorsque l'on manipule des images, de superposer différents formats facilement en occupant une faible place mémoire. En revanche, la visualisation (l'impression) sur écran et sur papier, impose une conversion en mémorisation élémentaire et un choix de format plus consommateurs en place mémoire. 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 (i.e. l'indéterminisme) 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].

Genèse des idées et conception innovante : applications et perspectives

Notre réflexion concerne d'abord l'apprentissage. Les enseignements académiques ou professionnels sont concentrés sur les résultats finaux et quasiment jamais sur les démarches de conception. Prenons quelques exemples. A tous les stades de la scolarité, pour les sciences (comme pour la plupart des autres disciplines), seules les copies au propre sont évaluées. Les brouillons ne le sont quasiment jamais. Hors, il suffirait de savoir qu'un brouillon nous vient de Leonardo da Vinci, pour que sa valeur soit inestimable à l'idée qu'il puisse receler quelques indices de son génie. Quel regard porte-t-on alors sur les brouillons des élèves ? Les travaux sur l'effet pygmalion [Rosenthal R. et Jacobson L., 1968] ne nous enseignent-ils pas les implications du regard porté ? Nous faisons un autre constat. La nature des questionnements posés et des raisonnements attendus n'adressent pas toujours la conception innovante là où elle est attendue. En science, toutes les relations sont connues à l'avance. Il s'agit à chaque fois de savoir les appliquer ou de savoir reconnaître celle qui correspond à la situation décrite ou de savoir trouver des paramètres manquants. Il n'est jamais question de rechercher une relation nouvelle et inconnue. Certaines disciplines sont en revanche fondées sur ce type de recherche comme par exemple la philosophie, les arts ou les langues. Les arts pour des raisons déjà évoquées [p.4]. La philosophie parce qu'elle explore les correspondances entre différentes conceptions du monde. Les langues parce qu'elles exigent de concevoir des correspondances de sens d'une langue d'origine à une langue étrangère (relation entre le connu et l'intrus). Les critères d'évaluation en matière de conception innovante (lors de recrutements) ne sont donc pas ceux auxquels on pense classiquement.

Bien que les théories de la pensée conceptive soient nombreuses, elles n'ont finalement qu'un rôle très indirect dans l'ensemble des apprentissages. Les réussites ne sont pas attendues comme le résultat d'un apprentissage des sciences de la conception appliquée dès la genèse des idées mais comme le résultat des efforts consentis, du génie et de la chance. Nous retrouvons ensuite ce même schéma lorsqu'il est question d'évaluer des projets innovants dans le monde professionnel ou académique. Les pronostics exprimés sur la réussite ou l'échec sont bien trop souvent contredits par les faits. Si les projets étaient conçus scientifiquement dès leur origine, les potentialités de conversion en réalités économiques et industrielles seraient hautement plus importantes, comme le montrent les expériences conduites en partenariat avec la Chambre Franco-Allemande de Commerce et d'Industrie (Giacomoni, 2013).

L'enjeu est stratégique : apprendre à innover pour ne pas entièrement dépendre d'autrui. Rappelons que 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 [Giacomoni & Jardat, 2014, p.3; de Beaune, 2008, p.7]. Cette définition conduit à penser que le monde environnant est fait d'innovations, puisque nous appartenons à un marché qu'elles sont un jour parvenues à atteindre, pour l'intérêt ou l'utilité qu'elles apportent, par diffusion des usages, de proche en proche, de génération en génération. L'effet de

diffusion étant plus ou moins lent, les innovations ne nous apparaissent pas toujours comme telles lorsqu'elles préexistent dans notre environnement, c'est le cas du baccalauréat (XII^{ème} siècle) ou de la roue (avant le VIII^{ème} siècle) qui ont toujours autant de succès. Tout un chacun participe donc au processus d'innovation collectif, dans des proportions variables, consciemment ou pas, dès la genèse des idées où seulement en la relayant à froid. Les participations individuelles (financière, adaptative, etc.) dessinent dans le temps des trajectoires interdépendantes qui réunissent les éléments épars et produisent collectivement des systèmes de connaissances que sont les objets, les procédés ou les organisations innovantes sous l'état et l'identité qu'on leur connaît. Mais rien n'est figé [Simondon, 1958]. Du reste, l'état reconnaissable sous telle identité aurait été différent si toutes les trajectoires possibles avaient pu être parcourues. Mais cela est impossible et rappelle l'irréversibilité des choix opérés au cours de l'histoire du processus d'innovation. Ces irréversibilités sont introduites par les impératifs, les contingences, les intentions et plus généralement toutes les formes de rationalités limitées [Simon, 1969 ; Giacomoni & Sardas, 2014]. La question fondamentale à laquelle nous nous sommes efforcés d'apporter des éléments de réponse, en cherchant à comprendre scientifiquement l'imitation imaginaire du monde réel, est donc bien celle de savoir comment regarder les choses telles qu'elles pourraient être, indépendamment de la façon dont nous les considérons sous leur nature habituelle.

Références bibliographiques

- [Argan, J.-R., 1814], "Réflexions sur la nouvelle théorie des imaginaires", *Annales de Gergonne*, t. V,
- [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
- [Cauty A, 1992], "regards croisés sur la droite réelle : quelle concrétisation des ensembles de nombres pour l'éducation bilingue amérindienne ?", *AMERINDIA*, n°17,
- [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,
- [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,
- [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. & 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. & Rowe F. (Eds), Palgrave MacMillan (Publisher),
- [Giacomoni G. & 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,
- [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. & Morera R., 2005], "Technique et imaginaire", *Hypothèses* 1, p.163-174.
- [Köhler W., 1929], *Psychologie de la forme*, Paris, Gallimard (coll. "idées"), 1964,
- [Lautman A., 2006], *Les Mathématiques, les Idées et le Réel Physique*, Vrin, Librairie Philosophique J.,
- [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,
- [Piaget J., 1962], *Play, dreams, and imitation in children* (Original work published in French, 1927). London: Routledge Kegan Paul.
- [Piaget, J. & 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.,
- [Reix R., Kalika M., Fallery B. & Rowe F., 2011], *Systèmes d'information et management des organisations*, 6e éd., Vuibert,
- [Rizzolatti G. & Sinigaglia C., 2011], *Les neurones-miroirs*, Odile Jacob,
- [Rosenthal R. et Jacobson L., (1968)], *Pygmalion in the classroom: Teacher expectation and student intellectual development*, New York, Holt, Rinehart & Winston,
- [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.
- [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,

[Wright C., 1983], *Frege's Conception of Numbers as Objects*, Aberdeen,