



HAL
open science

La science, l'impossible et l'inconnu. Les enseignements de la théorie de la conception

Armand Hatchuel

► **To cite this version:**

Armand Hatchuel. La science, l'impossible et l'inconnu. Les enseignements de la théorie de la conception. La science et l'impossible, 14 ème rencontre Physique et interrogations fondamentales, Société française de physique, Nov 2014, paris, France. hal-01196114

HAL Id: hal-01196114

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-01196114>

Submitted on 9 Sep 2015

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

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

La science, l'impossible et l'inconnu.

Les enseignements de la théorie de la conception

Armand Hatchuel

Chaire théorie et méthodes de la conception innovante ; Mines ParisTech, PSL-Research
University, CGS UMR I3

La Science et l'impossible, 14^e rencontre Physique et interrogations fondamentales, Société française de Physique, BNF 22 novembre

Résumé : Les propositions scientifiques sont communément utilisées pour valider la possibilité ou l'impossibilité de certaines actions. Mais la science ne peut considérer le possible ou l'impossible que dans l'espace du connu. Elle se trouve donc démunie face aux propositions non encore établies et risque de se trouver devant des contradictions récurrentes lorsqu'elle affronte l'inconnu. L'explication de ce piège logique, ainsi que la façon de le dépasser, nous sont aujourd'hui fournies par les développements de la *théorie de la conception, dite théorie C-K*¹ qui a pour objet l'étude du raisonnement dans l'inconnu, comme hier, la théorie des probabilités offrait une interprétation rigoureuse de l'aléa. Face à des inconnus désirables, La théorie de la conception invite à rejeter les jugements de possibilité/impossibilité et guide la construction d'une double expansion créative.

Title: Science, the impossible and the unknown: some lessons from Design theory.

Abstract: We use commonly science to prove the possibility or impossibility of some actions. However, science can form such judgments only within already known domains of action. Thus, Science is in trouble, and finds itself unable to cope with unestablished and undecidable propositions. It may be led to contradict itself when it faces the unknown. The clarification of this logical trap, and ways to overcome it, are given by contemporary advancements in design theory, namely the development of C-K theory². The purpose of such theory is to study how we can reason rigorously when we face the unknown; likewise, probability theory offered a rigorous interpretation of chance and randomness. Facing desirable unknowns, Design theory invites to reject possibility/impossibility assertions and guides the elaboration of a creative and dual expansion.

¹ Hatchuel A. and Weil B., C-K design theory: An advanced formulation, *Research in Engineering Design*, 19(4):181–192, 2009; Agogué, M. and Kazakçı A., « [10 Years of C–K Theory](#): A Survey on the Academic and Industrial Impacts of a Design Theory. » *An Anthology of Theories and Models of Design*. Springer London, 2014. 219-235.

² Hatchuel A. and Weil B., C-K design theory: An advanced formulation, *Research in Engineering Design*, 19(4):181–192, 2009; Agogué, M. and Kazakçı A., « [10 Years of C–K Theory](#): A Survey on the Academic and Industrial Impacts of a Design Theory. » *An Anthology of Theories and Models of Design*. Springer London, 2014. 219-235.

Les propositions scientifiques semblent le moyen idéal pour valider la possibilité ou l'impossibilité de certains projets. L'expérience des ingénieurs, des médecins et de nombreuses autres professions, en témoigne depuis longtemps. Dans ces métiers, ainsi que dans bien d'autres, on constate l'usage quotidien et fondé de jugements du type : «Le procédé X ne peut dépasser un rendement Y » ; ou « il est impossible de guérir la maladie X avec le traitement Y». La science est donc considérée, à raison, comme le meilleur juge de ce qui est possible ou impossible.

Pourtant, la justesse de ce constat ne va pas sans paradoxes.

a) La science, par son activité même, produit de nouvelles connaissances qui vont précisément déplacer les frontières de ce qui, hier, était jugé impossible. Pourtant, nous allons voir que le raisonnement scientifique, dans sa forme classique qui est celle de la modélisation du réel connu, masque cette difficulté et les ambiguïtés des notions de « possible/impossible». De fait, la science ne peut juger de l'impossibilité que dans le cadre d'un connu supposé invariant.

b) La science est en fait démunie face aux propositions non encore établies qui sont indispensables à tout projet véritable. Elle risque donc de se trouver devant des contradictions récurrentes lorsqu'elle affronte l'inconnu. Par exemple, lorsqu'on lui demande de statuer sur les possibilités de créer une technique qui n'existe pas.

c) L'explication rigoureuse de ce piège logique, ainsi que la façon de le dépasser, ne peuvent pas venir du seul raisonnement scientifique. On peut aujourd'hui s'appuyer sur les développements de la *théorie de la conception, dite théorie C-K*³. Cette théorie a précisément pour objet l'étude du raisonnement dans «l'inconnu». Elle montre la nécessité de suspendre, dans ces situations, la notion de possible/impossible et de lui préférer une logique de la *K-indécidabilité* qui prédit que face à l'inconnu on doit rechercher *une double expansion des connaissances et des concepts*, notions que nous allons préciser dans la suite de ce texte.

Cette logique a un fondement solide : elle explique les conditions par lesquelles, on peut concevoir des objets nouveaux, hier inconnus et qui paraîtraient impossibles dans l'état initial des connaissances. Elle répond à une lacune du raisonnement scientifique, qui dans sa forme classique, tend à figer le connu. En associant la théorie de la conception et le raisonnement scientifique, on se dote *d'une logique conceptive générale* qui est plus cohérente avec la nécessité impérative des propositions indécidables pour penser les projets futurs. Elle permet ainsi de déjouer les paradoxes de l'impossible.

³ Hatchuel A. and Weil B., C-K design theory: An advanced formulation, *Research in Engineering Design*, 19(4):181–192, 2009; Agogué, M. and Kazakçi A., « [10 Years of C–K Theory](#): A Survey on the Academic and Industrial Impacts of a Design Theory. » *An Anthology of Theories and Models of Design*. Springer London, 2014. 219-235.

Tels sont les principaux résultats que nous voudrions exposer dans cette contribution, en introduisant des éléments de théorie de la conception ainsi que leurs conséquences.

1. Du raisonnement scientifique au raisonnement de conception : rétablir une logique de l'inconnu

La théorie de la conception se propose d'explicitier les conditions de possibilité de la génération d'objets « nouveaux ». Elle développe des formalismes qui explorent les logiques de l'innovation, de l'invention ou de la découverte.

Ces notions font partie du sens commun. Elles semblaient n'avoir qu'une signification intuitive ; et passaient pour rebelles à toute analyse rigoureuse. Cela tient, surtout, à ce que leur étude, pourtant fort ancienne, n'a connu d'importantes avancées que dans les dernières décennies⁴.

L'étude des raisonnements de conception a probablement débuté, dans l'Antiquité, avec les premiers traités d'architecture. Dès ces temps anciens, l'architecte se réclamait d'une démarche encore hybride : il revendiquait une part d'inspiration créatrice, voire divine, mais il affirmait aussi que la fécondité de cette inspiration dépendait de ses connaissances et de sa capacité à en développer de nouvelles et d'utiles pour l'œuvre désirée⁵. La compréhension des raisonnements de conception a suivi ensuite le développement de disciplines et de traditions très variées (Sciences de l'ingénieur, sciences de la décision, Statistique inférentielle, mathématiques de l'extension, théories de la création artistique...) avant d'être constituée comme une théorie autonome à la fin du 20^e siècle⁶.

Pour en saisir le projet, la voie la plus directe consiste à comparer d'une part, le raisonnement scientifique qui cherche une modélisation (ou une théorie) du réel, et d'autre part, le raisonnement de conception qui part d'un projet inconnu.

- *Le raisonnement scientifique* cherche à réduire la distance entre les connaissances établies, considérées comme vraies (ou consensuelles) que l'on désigne par **K** ; et d'autre part, l'ensemble des phénomènes *observables*⁷, désignées par **Y** et qui restent des énigmes lorsqu'ils sont encore inexpliqués. Ce qui signifie plus formellement qu'ils sont *incompatibles* avec **K** (contradiction) ou qu'ils sont *indépendants* de **K** (non prédictibles à partir de **K**)⁸.
-
- *Le raisonnement de conception* se propose de créer un artefact **X** ayant les propriétés souhaitées **P(X)**, mais dont l'existence n'est pas déductible des connaissances existantes **K**, ou est en contradiction avec elles. On dira alors que **X** est *inconnu* relativement à **K**. Par

⁴ Hatchuel A., Weil B., (2014), les nouveaux régimes de la conception, Hermann Paris (2^e édition) ; Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2010). Strategic Management of Design and Innovation. Cambridge: Cambridge University Press.

⁵ On pourra consulter ici les deux premiers chapitres du traité d'architecture de Vitruve.

⁶ Le Masson P, Dorst K, Subrahmanian E (2013) Design Theory: history, state of the arts and advancements. Research in Engineering Design 24 (2) :97-103. –

⁷ Au sens large de décelables ou détectables par tous moyens.

⁸ Au sens des théorèmes d'indépendance que l'on trouve en axiomatique.

exemple : « un pneu d'automobile du commerce qui n'utilise pas de caoutchouc » est un objet inconnu dans l'état actuel des pneus que l'on peut proposer sur le marché.

Anomalies constatées, anomalies désirées

Ainsi le raisonnement scientifique cherche à réduire par le développement des connaissances les *anomalies constatées* du réel, tandis que le raisonnement de conception choisit *l'anomalie désirée* qu'il se propose d'élaborer et de faire exister.

a) L'explicitation de ces deux types de raisonnement est un premier résultat de la théorie de la conception. En effet, les notions « d'inconnu », ou « d'inconnu désiré » n'appartiennent pas au vocabulaire traditionnel de la science et de la logique. Et en tout cas n'avaient pas fait l'objet d'une formalisation systématique.

b) Or, ces deux types de raisonnement impliquent des différences majeures dans l'approche de « l'impossible », que nous allons brièvement préciser :

- Dans le cadre de la science, on ne peut déclarer *impossible*, toute proposition **P** qui à un instant donné, est incompatible avec l'état des connaissances **K**. Une telle règle serait contradictoire avec la possibilité de voir émerger des connaissances nouvelles **dK** (que l'on désigne par *K-expansion*) et qui viendraient bousculer le jugement initial. On doit donc introduire, un ensemble de connaissances que l'on appelle **K_{inv}**, avec **K_{inv} < K**.

K_{inv} est une partie de **K** dont on affirme qu'elle sera *invariante dans le futur, malgré l'existence des énigmes Y* qui restent encore à résoudre. On peut dire aussi que **K_{inv}** est la partie de **K** qui est supposée non susceptible d'expansion dans le futur : donc **dK_{inv} (t) = 0, pour tout t > t₀**. Cette approche est légitime, elle ne dit rien de plus que : est impossible *ce qui est interdit par une connaissance supposée invariablement vraie*. Or, la science admet généralement qu'un petit nombre de propositions fondamentales ne varieront pas.

- On doit cependant ajouter à ce principe général, une condition technique *supplémentaire* moins intuitive : *Il faut que le jugement de compatibilité (ou d'incompatibilité) entre K_{inv} et P soit lui-même démontrable*.

Or, cette condition est particulièrement limitative car elle exige que **P** soit formulé avec suffisamment de précision pour que sa compatibilité avec **K_{inv}** puisse être testée.

Par exemple : la proposition **Q** : « les types de véhicules spatiaux que nous connaissons peuvent faire l'aller et retour sur Mars » peut être rendue suffisamment précise pour que l'on puisse tester si elle est vraie ou fausse, et par déduction, possible ou impossible. Mais cette compatibilité devient indémontrable si l'on transforme **Q** en la proposition **Q'** suivante : « nous pouvons construire de nouveaux types de véhicules spatiaux qui pourront faire l'aller et retour sur Mars ».

En effet, en introduisant l'expression « nouveaux types de véhicules spatiaux », le test de compatibilité entre **Q'** et **K_{inv}** n'est plus nécessairement possible. Cette expression désigne une étrange collection d'objets inconnus, ou dont certains des attributs sont inconnus. Comment alors tester leur compatibilité avec **K_{inv}** ?

Ce test reste néanmoins possible mais dans un cas de figure très particulier : il faut supposer que l'état des connaissances **K_{inv}** impose à tous les «nouveaux types de véhicules spatiaux», une propriété commune **Q''** incompatible avec **K_{inv}**. Par exemple, si on peut montrer que tous les véhicules spatiaux, quels qu'ils soient, et capables de faire l'aller et retour sur mars, violent la loi de conservation de l'énergie ; et si l'on considère que cette loi est une proposition de **K_{inv}** alors on a bien montré une impossibilité. Mais il faut pouvoir montrer que **Q''** constitue une vérité invariante assignable à tous les «nouveaux véhicules spatiaux», *quels qu'ils soient*. Cette « loi » qui pèserait sur tous les futurs véhicules spatiaux serait donc **imposée** à l'avance et **indépendante** de leur conception et de leur définition.

Cette brève analyse conduit donc à une première thèse :

Thèse 1 : *Le raisonnement scientifique ne comprend l'impossible qu'au sein d'une classe d'objets ayant des propriétés invariantes et testables au sein de **K_{inv}**. Ces propriétés doivent être des conséquences d'une loi universelle, indépendante des objets et qu'aucune conception future de ces objets ne saurait transgresser.*

Les « fixations » de la science face à l'inconnu

Cette thèse désigne avec précision le piège tendu à la science lorsqu'elle doit juger de l'impossible. Ainsi, face à des objets inconnus, le raisonnement scientifique ne peut décider de l'impossible qu'en prenant le risque d'imposer dogmatiquement des propriétés invariantes à ces objets. En termes de psychologie cognitive, le raisonnement scientifique encourt le danger de propager des « fixations » illégitimes au travail de conception. En effet, le jugement d'impossibilité doit être établi indépendamment de toute conception future. Il ne peut donc s'appuyer que sur les caractéristiques universelles et invariantes d'une classe d'objets. Il porte donc nécessairement sur des objets dont une part de la définition est invariante et détermine certaines propriétés indépendamment de tout autre paramètre de conception de ces objets. Il y aurait donc dans la conception de ces objets un découplage entre un groupe de paramètres et de propriétés qui est invariant, et un autre groupe de paramètres et de propriétés qui lui dépendra du futur. A l'évidence le groupe invariant et universel est nécessairement un objet fondamental de la science. Ce qui revient à dire que *la science ne peut juger de l'impossibilité que sur ces propres objets, censés être invariants et indépendants de toute conception humaine future.*

Il est utile, à ce stade, de distinguer deux types de fixations :

- **Fixation sur les connaissances** : c'est la fixation la plus intuitive, car elle consiste à porter un jugement d'impossibilité sans tenir compte des découvertes futures. Dans beaucoup de domaines, chacun sait que ce qui est impossible aujourd'hui ne le sera pas nécessairement demain. Ce constat est courant en Médecine, par exemple, où de nouveaux traitements peuvent découler de la découverte d'un mécanisme biologique inconnu jusque-là. Il est donc aisé de prendre conscience des pièges d'une telle fixation. Néanmoins, si l'on est assuré que les connaissances évolueront, la direction que prendront ces évolutions reste indécidable, précisément parce qu'elle dépend, on va le voir, de nos capacités de conception.

- **Fixation sur les définitions des objets et des catégories** : ce second type de fixation est moins intuitif. Le développement scientifique nous a accoutumés à nous méfier des fixations sur l'état des connaissances. On est en revanche toujours surpris par les révisions qui portent sur la définition des objets. En outre, de telles révisions peuvent intervenir de façon peu visible tout en bousculant les jugements d'impossibilité que l'on avait formulés précédemment.

Pour le comprendre, on doit se souvenir que tout système cognitif repose sur des objets dont la définition a été conçue relativement à un état des connaissances donné. De ce fait, ces notions sont, elles aussi, potentiellement révisables. Le débat récent sur la notion de « planète » en est une bonne illustration. Tout portait à croire que le terme de « planète » découlait d'une observation naturelle particulièrement robuste. Mais à mesure que les « planètes » possibles se sont multipliées, la définition traditionnelle est apparue comme une source d'incohérences qu'il a fallu réduire en la modifiant.

Revoir la définition des objets naturels est relativement rare. Il s'agit le plus souvent de révolutions scientifiques importantes. En revanche, cette révision est courante, voire banale, pour les techniques. Il est bien plus commun de reconcevoir ce qu'est « une chaise » ou « un procédé de dessalement de l'eau », que ce qu'est une « planète ».

Préciser les raisons d'un tel état de fait exigerait des développements qui dépassent le cadre de ce texte. Mais on peut écarter l'hypothèse qu'il s'agirait d'une propriété intrinsèque aux objets « naturels » par opposition aux objets « culturels ». On connaît des objets « naturels », comme les virus par exemple, dont le rythme de mutation semble aussi rapide que celui de la mode.

Importe surtout de comprendre que la révision de la définition d'un objet, qu'il soit naturel ou culturel, ne relève pas seulement des découvertes futures mais aussi des *conceptions inventives de ces objets* qui seront proposées. Cette idée s'oppose à la représentation classique des connaissances comme découlant mécaniquement de l'expérience ou des observations. Il s'agit de prendre acte du fait qu'il y a toujours *interprétation conceptive* des données de l'expérience. On rejoint sur ce point les remarques d'un Henri Poincaré⁹. Mais on peut aujourd'hui fonder systématiquement cette proposition. Notamment en montrant qu'elle est une conséquence nécessaire de ce que la production de connaissances est toujours un raisonnement dans l'inconnu. C'est une des leçons principales de la théorie de la conception. Elle invite aussi à substituer une logique de l'indécidabilité à une logique de l'impossibilité.

2. Reasonner dans l'inconnu : conception, indécidabilité et expansions

⁹ Henri Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Champs Flammarion 2014.

La théorie de la conception a connu plusieurs formulations. Sa forme la plus récente et la plus universelle est connue sous le nom de théorie C-K, dont nous reprenons ici quelques propositions centrales¹⁰.

On l'a vu précédemment, la situation de conception se caractérise par l'énoncé d'une proposition qualifiant un objet inconnu relativement à un état des connaissances et que l'on désire faire exister. De cette première caractérisation, on peut déduire une deuxième thèse qui introduit la notion d'indécidabilité :

Thèse 2 : *Dans les situations de conception, l'objet inconnu X que l'on voudrait faire exister est défini par une proposition $P(X)$ indécidable dans K* ¹¹.

L'indécidabilité de la possibilité ou de l'impossibilité de X se démontre aisément à partir des analyses précédentes. Affirmer que l'existence de X est possible revient à supposer qu'il a déjà été conçu ou que son existence se déduit de K . Ce qui est en contradiction avec son caractère inconnu. De même affirmer que l'existence de X est impossible revient à faire peser sur P , un système de fixations dont on ne connaît pas la validité future.

Cette thèse constitue un des grands acquis de la théorie de la conception. Elle donne un statut logique précis, *la K-indécidabilité*, aux propositions qui portent sur des anomalies désirées. On peut interpréter ces propositions comme des *chimères en attente d'existence*. Ces situations sont communes tant dans la recherche scientifique que dans l'activité ordinaire. Elles se ramènent canoniquement à des propositions du type : *on veut faire exister des X qui possèdent une propriété $P(X)$; alors qu'aucun des objets connus (ou déductibles) de la base K disponible ne possède cette propriété*.

La théorie de la conception permet donc de conclure que face à l'inconnu, les jugements sur le possible et l'impossible ne sont pas acceptables. En effet, de tels jugements ne sont que l'affirmation de fixations dont une partie est nécessairement inconsciente puisqu'elles ne seront révélées qu'après coup.

Dans la théorie C-K, « $X P(X)$ » est appelé *un concept de X dans K* , lorsque *la proposition « il existe $XP(X)$ » est K-indécidable*. On doit souligner que l'indécidabilité n'est jamais absolue et toujours relative à un état de K .

Ces premiers acquis dictent les développements suivants de la théorie de la conception. Nous ne pouvons qu'en résumer ici les principales étapes¹² qui mettent en évidence les différents mécanismes par lesquels des objets dont l'existence est indécidable à un instant donné peuvent être générées par le travail de conception.

¹⁰ Hatchuel A. and Weil B., C-K design theory: An advanced formulation, Research in Engineering Design, 19(4):181–192, 2009

¹¹ Hatchuel A. and Weil B., C-K design theory: An advanced formulation, Research in Engineering Design, 19(4):181–192, 2009

¹² pour plus de développements on pourra se reporter à Hatchuel et Weil 2003, 2009)

Un raisonnement fondé sur une double expansion en C et en K

Que peut-on dire d'un objet **X**, ayant la propriété **P(X)**, dont l'existence est indécidable dans un état initial des connaissances **K** ?

La **K**-indécidabilité invite à abandonner, sauf contradiction avec le caractère inconnu de **X**, toute proposition en termes de possibilité/impossibilité. Il faut plutôt s'interroger sur les opérations d'*expansion* que l'on peut conduire.

En effet, un tel **X** n'est pas observable. Mais on peut avancer en proposant des *expansions observables* **Ck(X)** dont on pourra dire si elles possèdent ou non la propriété **P(X)** dans un certain état des connaissances **K***, nécessairement différent de **K**.

La création des expansions observables ne peut s'obtenir qu'en assignant à **X** des attributs supplémentaires **Ci(X) = Q1, Q2,..Qi** qui permettent la réalisation d'une expansion observable. Si une série **Q1, Q2,.., Qp**, compatibles et vraies dans **K*** est telle que :

Q1, Q2,.., Qp → P(X) vraie dans un certain état **K***, alors **Cp(X) = C* = Q1, Q2,..Qp** est une conception vraie de **X** dans **K***. En outre, il faut qu'au moins un **Qj** n'appartienne pas à **K**, sauf à entrer en contradiction avec la **K**-indécidabilité initiale.

Cette conception **C*** n'est pas nécessairement unique, et par convention, une des **C*** constituera une définition constructive de **X**. Auparavant, à chaque étape, une suite **Ci = Q1,.., Qi**, observable, peut être interprétée comme une « maquette » ou un « prototype » de **X**. **Ci** est un concept, donc **K**-indécidable, tant que **P(X)** n'est pas vrai dans **K*** ¹³.

A ce stade, on peut constater que le raisonnement de conception opère nécessairement sur *deux espaces interdépendants*, qui ont donné leur nom à la théorie C-K :

- celui des « concepts » **C**, qui se déploie par des systèmes d'attributs formant des expansions observables de **X**
- Celui des connaissances **K**, qui doivent s'étendre pour offrir de nouveaux attributs.

On montre ainsi que le raisonnement de conception consiste précisément à lutter simultanément contre les deux fixations que nous évoquions plus haut.

- L'expansion en **K** lutte contre la fixité des connaissances. Mais cette expansion ne s'opère pas de façon purement aléatoire. Elle est guidée par les expansions du concept **XP(X)** dont l'étude stimule les apprentissages.
- L'expansion en **C**, révise la définition des objets en ajoutant des attributs inattendus aux objets connus. Mais cette expansion est dépendante des expansions en **K** qui agissent comme des sources nouvelles d'attributs.

Une logique à quatre opérateurs

¹³ **Ci** peut être rendu faux dans **K***, cela signifie que les expansions sont incohérentes et ont provoqué un retour au connu. Il s'agit alors d'un test révélant une erreur dans le raisonnement d'expansion.

Le raisonnement en double expansion exige quatre opérateurs qui décrivent d'une part, les interactions entre les espaces **C** et **K**, d'autre part les opérations internes à chaque espace.

- **Les opérateurs $K \rightarrow C$** , transforment des propositions vraies en proposition indécidables, ou étendent ces dernières par expansion d'attributs.
- **Les opérateurs $C \rightarrow K$** , transforment des propositions indécidables en proposition vraies soit par *activation* (investigations, association d'idées,) soit par *validation* (expérimentations, tests...).
- **Les opérateurs $C \rightarrow C$** , étendent les concepts ou réorganisent leur déploiement.
- **Les opérateurs $K \rightarrow K$** opèrent les déploiements et les réorganisations de la connaissance.

On peut maintenant énoncer la thèse T3 :

Thèse 3 : *Face à l'inconnu, les jugements scientifiques sur l'impossible ignorent les expansions potentielles en C et en K.*

La théorie de la conception offre une démonstration rigoureuse du raisonnement cohérent et compatible avec l'inconnu. Les jugements scientifiques sur l'impossible ne sont donc valables que si ce raisonnement est exclu. Donc, si ces jugements sont exclusivement formés par déduction dans un espace doublement clôturé : clôturé du point de vue des connaissances disponibles, et clôturé par des définitions issues des seules combinaisons d'attributs acceptables dans cet espace de connaissances.

3. Vers une logique conceptive générale.

Sauf à enfermer le raisonnement scientifique dans un monde clos, il doit donc être complété par le raisonnement de conception qui explique précisément les opérations d'expansion du monde connu.

Il s'agit tout d'abord de ne pas dévoyer le jugement scientifique. En effet, dès lors qu'il s'agit de juger du possible/impossible, face à un futur inconnu, la science est placée dans une position contradictoire qu'il est maintenant possible de caractériser avec rigueur. Sans le recours protecteur qu'offre la caractérisation du raisonnement dans l'inconnu et la théorie de la conception, les scientifiques seront sommés de se prononcer, et par là même, incités à dénier la réalité de l'inconnu. Les scientifiques ne peuvent alors s'exprimer qu'au nom d'une logique de la conviction ou de la croyance, logique qu'ils rejettent avec force dans leurs travaux. Une telle contradiction conduit logiquement à s'interroger sur ce qui détermine les convictions et les croyances des scientifiques, et qui ne peut provenir du savoir scientifique lui-même. Elle nourrit aussi le soupçon que ces croyances obéissent à des idéologies ou à des doctrines non explicitées. Il est alors facile d'imaginer des intérêts corporatistes ou une « course en avant » scientifique.

L'inconnu : une extension épistémologique

Cette vulnérabilité du raisonnement scientifique face à l'inconnu ne peut que desservir l'éthique du projet scientifique. Car les jugements sur l'impossible peuvent porter sur les futurs désirables autant que sur les futurs que l'on peut craindre. Affirmer qu'un danger est

impossible est toute aussi critiquable que l'affirmation symétrique déclarant tel défi impossible.

Plus fondamentalement, l'absence de réflexion théorique sur cette vulnérabilité a aussi contribué à masquer une lacune épistémologique : l'absence d'une logique permettant de caractériser avec rigueur le raisonnement dans l'inconnu. C'est cette lacune que la théorie de la conception tente de combler, au moins en partie, en clarifiant rigoureusement ce raisonnement et les mécanismes de la double expansion.

On se trouve donc devant une extension épistémologique du champ scientifique, qui a pu être qualifiée d'« épistémologie générique »¹⁴. Ce champ contient toujours le raisonnement scientifique dans son effort de réduire l'écart entre connaissances et observations. Mais on doit lui adjoindre un champ supplémentaire d'exercice et de développement qui inclut les processus de génération d'objets à partir de concepts inconnus, désirables et K-indécidables. Le champ scientifique se trouve ainsi étendu et composé de *deux processus complémentaires de génération d'entités nouvelles* :

- D'une part les entités (découvertes) produites par la nécessité de réduire les anomalies constatées relativement aux connaissances existantes,
- D'autre part, les entités produites par expansion partir d'inconnus désirés.

En clarifiant ces deux processus, on peut établir que la puissance de la démarche scientifique tient à leur symbiose. En effet, si nous ne pouvions concevoir de nouveaux objets à partir de propositions inconnues, nous ne pourrions pas même créer les nouveaux instruments d'observation et de mesure qui sont indispensables pour constater des anomalies du savoir. De tels instruments nous sembleraient, indument, impossibles.

Création conceptuelle et conjecture

La théorie de la conception peut donc éviter à la science le piège de la prédiction contradictoire. Mais elle a d'autres implications plus profondes que nous évoquons brièvement pour conclure.

a) Sauf à admettre que les connaissances se développent selon le hasard le plus pur, la théorie de la conception montre que *l'expansion des connaissances est aussi guidée* par des propositions indécidables exprimant un inconnu désiré. La recherche de la vérité est donc paradoxalement inséparable de *cette création conceptuelle*, qui elle-même dépend de notre puissance de chimérisation. Avec d'autres formulations, des constats similaires se trouvent chez des physiciens comme Poincaré et Einstein ou en philosophie des sciences. Mais ce qui hier relevait d'une herméneutique du travail de la science est aujourd'hui une *vérité nécessaire*, démontrable dans le cadre logique de la théorie de la conception.

b) En mathématiques, la découverte par l'observation d'un réel inattendu n'a pas de place. Les progrès des connaissances ont donc pour seule source cette même création conceptuelle, quoique soumise au filtre de la démonstration. On peut donc s'attendre à ce que cette

¹⁴ On pourra se reporter Schmid A-F. and Hatchuel A., (2014), On generic epistemology, Angelaki, Journal Of theoretical Humanities, 19, (2); pp.131-144.

discipline ait pu favoriser le développement de raisonnements proches de la théorie de la conception contemporaine. A cet égard, la technique du Forcing de Paul Cohen est certainement la formulation théorique la plus proche d'un raisonnement de conception. Nous avons pu montrer ailleurs ¹⁵ que la théorie de la conception contemporaine pouvait être lue comme une extension du Forcing à un espace de connaissances et d'objets « réels » donc un espace d'objets plus général que celui de la théorie des ensembles. On sait que la technique du Forcing avait permis à Paul Cohen de résoudre deux grandes questions célèbres, en sortant celles-ci du statut ambigu de « conjectures »¹⁶. Mais qu'est-ce qu'une « conjecture » ?

La théorie de la conception nous éclaire sur l'ambiguïté de cette notion. En effet, si l'on juge que tous les objets dont traite une conjecture sont parfaitement connus et leurs définitions fixées alors, on tentera de trancher sur la possibilité/impossibilité de démontrer cette conjecture. Si au contraire, on admet qu'une part d'inconnu se *cache* dans les objets de la conjecture, alors c'est un travail d'expansion et de création conceptuelle qu'il faut engager.

La théorie de la conception offre donc une extension de la pensée scientifique face à l'inconnu. Dans un tel contexte, elle invite à rejeter les jugements sur le possible et l'impossible. Elle propose aussi un cadre rigoureux pour le raisonnement dans l'inconnu, raisonnement indispensable à la création conceptuelle dans tous les champs du savoir.

¹⁵ Hatchuel A, Weil B, Le Masson P., (2013), Towards an ontology of design: lessons from C-K Design theory and Forcing, *Research in Engineering Design* 24 (2):147-163.

¹⁶ Cohen a été le premier à montrer que l'axiome du choix et l'hypothèse du continu étaient indépendantes des axiomes de la théorie des ensembles. Ce qui signifie que ces deux propositions étaient indécidables dans le cadre de cette théorie. Par conséquent, toute tentative pour juger de la possibilité/impossibilité (vérité/fausseté) de ces propositions était vaine.

Armand Hatchuel is Professor at Mines ParisTech and co-head of the Chair of Design theory and methods for innovation. He has developed with Benoit Weil, a new theory of Design, called C-K theory that explains rigorously the necessary operations for the generation of new objects. This work has been influential in several disciplines (Engineering, Psychology, Management, Philosophy,..) and inspired innovative industries. He has received several scientific awards and is fellow of academic societies.

Armand Hatchuel est professeur à MinesParistech et co-responsable de la chaire théorie et méthodes de la conception innovante. Avec Benoit weil, il a développé la théorie C-K de la conception qui explique les opérations nécessaires à la génération de nouveaux objets. Ces travaux ont un écho en Sciences de l'ingénieur, Psychologie, Gestion, philosophie, etc.. Ils ont aussi inspiré des industries innovantes. Il a reçu plusieurs distinctions scientifiques et est membre de plusieurs sociétés académiques.