

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 3, N° **1**, 1989

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de

systemique

**Revue
Internationale
de Sytémique**

volume 03, numéro 1, pages 3 - 20, 1989

Où se trouve la rationalité
de l'heuristique scientifique ?

Jacques Bonitzer

Numérisation Afscet, décembre 2015.



OÙ SE TROUVE LA RATIONALITÉ DE L'HEURISTIQUE SCIENTIFIQUE ?

Jacques BONITZER

Professeur Honoraire ¹

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Résumé

La recherche de la rationalité de l'heuristique scientifique, en même temps qu'elle s'est déplacée (d'une théorie de l'induction, principalement, vers une théorie de la genèse de structures signifiantes), a changé de sens : elle est aujourd'hui entendue comme caractérisant une action pratique tendant à la création conjointe d'objets et de connaissances nouveaux, fondée sur une connaissance théorique de ses conditions.

L'article tend à montrer :

- que les révolutions théoriques sont issues d'une phase de préparation plus ou moins longue, dans laquelle les changements de formes (logiquement équivalentes) des théories originaires jouent un rôle essentiel ;
- comment ces changements de formes sont corrélés à des applications concrètes, dans la science elle-même ou dans d'autres pratiques.
- que l'un des phénomènes décisifs des révolutions théoriques est l'éclatement des concepts, posés comme simples dans les théories originaires, en concepts multiples et distincts dans les théories «révolutionnaires».

Le dernier paragraphe tend à situer le processus d'acquisition de connaissances dans une perspective évolutionniste.

Abstract

The quest of a rational basis of scientific discovery, at the same time it moved, principally from a theory of induction towards a theory of genesis of meaningful structures, changed its own meaning. It should be understood now as concerning a practical activity aiming at

1. 8, rue Degas, 75016 Paris.

creating conjointly new objects and new knowledge, on the basis of theoretical knowledge of conditions of their creation.

The paper aims at showing :

- that a theoretical revolution is a result of a preparatory phase, short or long, during which changes of (logically equivalent) forms of an existing theory play a prominent role ;
- that one of the crucial phenomena of a theoretical revolution is a breaking of concepts, which the previous theory handled as simple ones, into multiple and distinct concepts of the new theory.

The last paragraph aims at putting the process of scientific discovery into an evolutionistic frame.

Introduction

Le problème des sources de la découverte scientifique n'a pas cessé d'être discuté, en particulier depuis le XVIIIème siècle, et plus intensément encore au XXème.

Jusqu'à une période récente, les auteurs se sont partagés très majoritairement entre deux tendances, d'ailleurs non absolument exclusives l'une de l'autre : certains penchent à privilégier l'*induction*, c'est-à-dire la généralisation de régularités constatées empiriquement ; l'*induction* fonctionne aussi bien dans les sciences empiriques, à partir des régularités des phénomènes naturels, qu'en mathématiques, où elle sert de première étape au raisonnement par récurrence. De grands efforts ont été faits pour la fonder en raison, en faisant appel à une logique spécifique faisant un sort particulier à des concepts probabilistes : la «logique inductive». Les difficultés de l'entreprise, on peut même dire son échec, servent d'argument – tout négatif – aux philosophes qui concluent à renvoyer le pouvoir de découvrir à une *intuition* plus ou moins complètement irrationnelle ^[1]. Les deux écoles de pensée partagent au demeurant cette idée commune que la découverte scientifique a pour étape initiale l'invention d'*hypothèses* scientifiques, qui sont ensuite soumises à un travail de vérification (ou d'infirmité) empirique (par l'expérience) ou formelle (en mathématiques – où on les appelle des conjectures – par la démonstration).

Depuis quelque dix ou vingt ans, des idées nouvelles se sont fait jour autour du courant systémiste. Les philosophies traditionnelles s'accordaient à dénier au raisonnement déductif tout pouvoir heuristique : il était réputé purement «tautologique» ; la conclusion d'un raisonnement *déductif* ne pouvait rien ajouter à ses prémisses. Or l'assimilation des conquêtes de la

logique mathématique de la première moitié du XXème siècle (particulièrement celles des concepts d'*incomplétude* des théories formelles, et de *relations indécidables* dans une théorie donnée, d'une suffisante complexité) a conduit à tenir pour désormais acquis que la donnée des axiomes d'une théorie ne suffisait pas à en connaître toutes les conséquences, et que par conséquent le raisonnement déductif pouvait conduire à des résultats imprévisibles. D'où la croyance naissante en une fécondité propre de ce type de raisonnement, que d'ailleurs il soit le fait d'un cerveau humain ou d'un automate.

Cette remise en question, qui a suscité tout un courant de recherches, a bientôt posé le problème de savoir ce qui confère un «sens», ou une «signification», aux relations «vraies» produites par le raisonnement déductif – problème qui partage à son tour les auteurs quant à la réponse à lui donner : primauté des facteurs internes ou des facteurs externes dans la genèse du sens ? Celui-ci est-il en quelque sorte un sens «en soi», capable de susciter un extérieur qui lui ferait écho ? ou doit-il nécessairement se référer à un extérieur préexistant ? – à moins que l'extérieur et l'intérieur ne s'engendrent mutuellement dans la dialectique de genèses parallèles ? C'est pour l'essentiel à ces questions que les remarques suivantes sont consacrées, même si elles en déplacent sensiblement le lieu et les données. Le fait qu'elles s'appliquent à des théories formalisées ne devrait pas susciter de difficultés à propos de celles qui ne le sont pas, étant donné que les concepts d'*ambiguïté*, qui en sont le pivot, sont à plus forte raison applicables à ces dernières.

1. Le mouvement autonome du raisonnement théorique

L'épistémologie traditionnelle se donne pour objet privilégié de réflexion le concept d'*hypothèse* scientifique ; elle nous dit que ce que l'induction et l'intuition permettent de produire, ce sont des hypothèses, c'est-à-dire des relations de portée universelle exprimant des propriétés (parmi d'autres) des phénomènes qu'elles concernent, et dont la validité peut être établie ou infirmée par un travail critique combinant des tests empiriques avec une analyse logique.

Son défaut est de méconnaître que dans le processus réel de découverte on n'invente jamais d'hypothèse nouvelle qui soit indépendante des cadres théoriques, ancien et nouveau, dont elles ne sont que des éléments. La découverte théorique ne consiste pas seulement à inventer de nouvelles

hypothèses, mais bien davantage à passer d'une théorie ancienne («théorie I») à une nouvelle théorie («théorie II»). Raisonner directement sur les hypothèses, c'est s'exposer à se faire cacher la forêt par les arbres.

Concernant le rapport des hypothèses à la théorie, une première distinction s'impose, correspondant à celle, faite par Th. Kuhn [2], de la «science normale» et des «révolutions scientifiques». Une hypothèse nouvelle peut être compatible, ou non, avec le «paradigme» (toujours au sens de Kuhn) du corps de connaissances auquel elle s'applique. C'est d'abord le second cas qui retiendra notre attention : celui des révolutions théoriques, c'est-à-dire de l'expression des révolutions scientifiques dans la théorie. Nous aborderons le premier seulement à la fin du présent paragraphe et dans le suivant ; son importance heuristique, au demeurant loin d'être négligeable, ne peut être en effet pleinement comprise qu'à la lumière des particularités (plus complexes) du second.

Formellement, lors d'une révolution théorique, lorsqu'on passe d'une théorie I à une théorie II incompatible avec elle : (a) on conserve la presque totalité du langage de la théorie I ; et (b) on conserve une partie de ses axiomes. Le passage se décompose ainsi : il consiste d'abord à supprimer certains des axiomes de la théorie I, en l'affaiblissant (de sorte qu'elle rend compte d'un moins grand ensemble de propriétés, en même temps qu'elle devient applicable à un domaine de phénomènes plus vaste), puis à adjoindre à cette théorie affaiblie de nouveaux axiomes (représentatifs d'abord de nouvelles hypothèses, avant qu'elles ne soient élevées au rang de postulats) ; ou, en d'autres termes, à la renforcer. Les nouveaux axiomes doivent naturellement (a) être compatibles avec ceux de la théorie I affaiblie (disons : la «théorie I_A») ; et (b) rendre compte de phénomènes que la théorie I originale était impuissante à représenter de façon satisfaisante.

Toute l'épistémologie traditionnelle a négligé cette analyse, en prétendant traiter comme un seul bloc l'affaiblissement-renforcement, qu'elle se représente comme le remplacement d'une hypothèse par une autre – et non comme celui d'une théorie par une autre.

Or il est assez évident que le passage de la théorie I à la théorie II n'est pratiquement possible que si le nombre des axiomes de la première, qu'il faut éliminer pour le permettre, n'est pas trop grand. Il faut même autant que possible qu'il n'y en ait qu'un seul (auquel cas l'épistémologie traditionnelle est apparemment justifiée). La réalisation de cette condition n'est jamais immédiate. Elle est cependant possible, du fait que toute théorie peut être représentée sous une infinité de formes logiquement équivalentes : la théorie I peut être représentée sous la forme I', dont certains

axiomes sont des relations déduites de la théorie I, logiquement équivalents à un certain ensemble d'axiomes de celle-ci, et qu'ils peuvent donc remplacer. Les deux théories produisent ainsi les mêmes théorèmes (ou relations vraies), qui sont seulement engendrés dans deux ordres différents. Elles peuvent ainsi exprimer les mêmes propriétés d'une réalité empirique.

(Remarquons que dans la pratique, le changement de forme et l'affaiblissement de la théorie I peuvent se faire d'un seul coup : il suffit pour cela de remplacer certains axiomes de I par un ensemble de relations qui en soient des conséquences sans leur être équivalentes ; le travail théorique prend alors globalement la forme d'un simple renversement : des relations dérivées de la théorie I deviennent des propriétés de base de la théorie I_A ainsi engendrée, et réciproquement).

Cette première phase du processus de passage (aussi importante que la phase de renforcement qui lui fait suite logiquement *et historiquement*) est en première analyse entièrement le produit du raisonnement déductif. Elle nécessite une maturation historique parfois longue, au cours de laquelle un nombre toujours plus grand de relations déduites de la théorie I vont être mises au jour (par l'œuvre de la «science normale») : ce n'est pas du jour au lendemain qu'ont pu passer de la Mécanique newtonienne à la Relativité ou à la Mécanique quantique ; il y faut toutes les expressions successives de la première, en particulier lagrangienne et hamiltonienne, et celle, explicite, des propriétés d'invariance.

Du côté de la «science normale», dans le processus historique de maturation d'une théorie se produisent des changements de divers types, dont certains sont purement formels, tandis que d'autres sont de véritables renforcements, cependant compatibles avec la théorie initiale, comme nous l'avons noté plus haut. Parmi ces derniers figurent les adjonctions d'*axiomes d'existence* de certains objets compatibles avec la théorie, définis par des relations spécifiées qui ne sont pas nécessairement impliquées par celle-ci. Notons par anticipation sur le paragraphe suivant, et pour n'y plus revenir (bien que ce ne soit pas sans importance), que cette création d'axiomes d'existence correspond formellement à la transformation des objets réels auxquels ils se rapportent en objets de recherches – en objets de pratiques scientifiques. Les découvertes des ondes hertziennes et des rayons X, celles du neutron, du neutrino ou du méson de Yukawa en fournissent des exemples classiques : après les avoir découverts, on s'est mis à travailler intensément sur eux, et non seulement théoriquement, mais très concrètement. Tout près de nous, les conséquences heuristiques de la découverte du rayonnement radio cosmologique par Penzias et Wilson,

phénomène compatible avec l'ébauche d'une théorie du «big bang», alors déjà disponible, sont encore loin d'être épuisées.

2. Intervention de l'hétéronomie : ambiguïté syntaxique et ambiguïté sémantique

Les remarques précédentes permettent d'énoncer une condition des révolutions théoriques. Elles restent cependant encore abstraites et générales, et ne nous disent rien de ce qui oriente concrètement l'ensemble du processus.

La multiplicité des expressions équivalentes d'une théorie donnée confère aux relations qu'on en déduit une certaine ambiguïté^[3] : une même relation vraie appartient à toutes les formes de la théorie, et l'on ne précise pas en général (sauf quand on a besoin d'aller jusqu'à la formalisation explicite), à quelle forme on la rapporte. Lorsqu'on dit qu'elle est vraie, on ne dit pas quelle est exactement sa place dans le raisonnement qui permet de conclure à sa validité ; on ne dit pas si on la tient pour une relation de base (un axiome) ou pour une relation dérivée, ni comment on la dérive. On peut qualifier cette ambiguïté d'ambiguïté *syntaxique*.

D'un autre côté, ces relations ont l'intérêt *pratique* que leur confèrent leurs applications à des processus pratiques divers. Et comme toute relation vraie d'une théorie peut avoir des applications dans une multiplicité de pratiques, et qu'on ne dit pas non plus en général, dans le travail théorique, à quel genre d'applications on la réfère, on peut dire que l'ambiguïté *syntaxique* est redoublée par une ambiguïté *sémantique*.

Or simultanément, à l'ordre du raisonnement formel qui fonde l'ambiguïté syntaxique, correspond un ordre de détermination d'actes pratiques qui dépendent les uns des autres, et s'engendrent donc dans un ordre *pratique*, qui n'est rien moins que contingent. Telle relation qui est un aboutissement du point de vue d'une pratique donnée sera un point de départ du point de vue d'une autre : pour la découverte de la planète Neptune, la position de la planète sur sa trajectoire hypothétique était un aboutissement des calculs de Le Verrier ; elle était un point de départ pour le réglage de la lunette de l'astronome Galle. Il arrive aussi que tel aspect d'un domaine de connaissances, et les propriétés qu'il englobe, dominants au moins potentiellement dans l'ordre de la théorie, restent pour un temps dominés dans l'ordre de la pratique. Il a fallu plusieurs dizaines d'années après la publication des équations de Maxwell, et les découvertes des ondes hertziennes et

des rayons X, pour que l'électromagnétisme prenne *pratiquement* le pas sur l'optique ; et cette inversion des rapports de domination *pratiques* des divers aspects des phénomènes devait immanquablement rétroagir sur la mise en œuvre de la théorie elle-même, qui de théorie électromagnétique *de la lumière* qu'elle était jusqu'alors, devenait désormais théorie *électro-magnétique* de la lumière (avec une extension de la signification cognitive du mot «lumière»).

Nous développerons plus loin certains détails du fonctionnement concret de l'ambiguïté sémantique, et sa relation à l'ambiguïté syntaxique, à propos de problèmes de métrologie (cf. § 4). On peut cependant déjà concevoir que l'appel des applications pratiques, en sollicitant des renversements de l'ordre de déduction des concepts d'une théorie, pour le faire correspondre à l'ordre de détermination de leurs actes pratiques, peut orienter le travail déductif préparatoire des révolutions théoriques.

L'«hétéronomie» (celle des applications) ne joue donc pas seulement un rôle de critique a posteriori vis-à-vis des résultats des raisonnements déductifs, pareil au rôle assigné par l'épistémologie classique, plus particulièrement, à l'expérience scientifique. Elle joue d'abord (chronologiquement) un rôle d'orientation de ceux-ci. Elle est elle-même partie intégrante du travail préparatoire des révolutions théoriques.

(Remarque – Les indications qui précèdent permettent de localiser clairement les faiblesses du conventionnalisme à la Poincaré, qui tient pour une simple convention, somme toute contingente, le choix de la forme sous laquelle on met en œuvre une théorie scientifique. Ce choix, déjà loin d'être indifférent lorsqu'il s'agit d'applications pratiques, est tout à fait décisif lorsqu'il s'agit de la *fécondité* des représentations théoriques, c'est-à-dire de leur pouvoir d'engendrer leur propre remplacement.)

3. L'intuition

Lorsque survient le moment décisif d'une révolution théorique, celui de la «greffe» d'une nouvelle hypothèse sur un corps théorique ancien suffisamment affaibli pour prévenir ses réactions de rejet, on peut dire que «tout est prêt» pour la révolution. Le savant qui se fait l'opérateur de ce moment décisif «n'a plus qu'à» choisir parmi les expressions disponibles de la théorie ancienne celle qui se prête au plus près, de la façon la plus simple possible, au passage à la nouvelle théorie. Quelquefois, il produit lui-même l'expression nouvelle qui convient au passage. Dans tous les cas,

la perception de ce qu'elle permet peut être à la fois immédiate et bouleversante. Subjectivement, ce qui se passe est effectivement ressenti comme un acte simple de l'intuition – alors même que c'est objectivement la résolution d'une longue préparation.

Dire que «tout est prêt» ne veut évidemment pas dire que n'importe qui puisse se faire l'opérateur de l'intuition décisive d'une révolution théorique. Il y faut des qualités personnelles très particulières, nombreuses et convergentes : une très grande culture scientifique, une connaissance étendue et profonde des raisonnements disponibles, la capacité de les embrasser ensemble, une agilité supérieure dans leur maniement, une volonté acharnée et persévérante. Il y a des ingrédients objectifs du génie : la mémoire, le goût du jeu, l'intérêt passionné pour une certaine classe de problèmes, la mobilité du raisonnement. A quelque degré, ils appartiennent à tout le monde, et non pas spécialement à une variété d'extra-terrestres ou de mystiques illuminés. Mais tout le monde ne les possède pas tous ensemble, ni portés au degré qui les rend opératoires pour la découverte scientifique.

4. Un moment décisif de l'heuristique scientifique : l'éclatement des concepts

Dire qu'une relation formelle, vraie dans une théorie, est syntaxiquement ambiguë, nous indique *formellement* qu'elle est à la fois ce qu'elle est, et autre. Cette indication est cependant tellement abstraite qu'elle peut passer pour une de ces abstractions purement formelles qu'on impute (pas toujours à tort) à la dialectique hegelienne. C'est seulement en portant son regard sur l'ambiguïté sémantique et sur les rapports qui l'unissent à l'ambiguïté syntaxique, que l'on peut comprendre la réalité concrète qui se trouve à l'arrière-plan de cette dernière. C'est ce que nous allons faire à propos du cas particulier (mais d'une évidente importance) de la pratique métrologique.

On nous dit ^[4] que la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide (en bref, la «vitesse de la lumière») est égale à $299.792.458 \pm 1,2$ km/sec. Que signifie, et que ne signifie pas cette formulation ?

Ce qu'elle signifie :

(a) que la mesure est reproductible dans la limite de l'intervalle de précision de $\pm 1,2$ km/sec : tous les résultats des expériences répétées avec

le mode opératoire standard (implicitement spécifié) auquel il correspond seront contenues dans ses limites, à de rares exceptions près, de caractère aléatoire ;

(b) que les valeurs incluses dans l'intervalle de précision sont compatibles avec toutes les circonstances pratiques où la vitesse de la lumière joue un rôle, que ce soit sous la forme des phénomènes impliqués dans le mode opératoire standard, ou sous toute autre forme.

Ce qu'elle ne signifie pas : qu'il y aurait, quelque part dans l'intervalle de précision, une valeur qui serait la «valeur vraie» de la vitesse de la lumière. L'inanité «ontologique» de la notion de «valeur vraie» d'une grandeur soumise à une mesure expérimentale est mise en évidence par l'analyse du processus de resserrement de l'intervalle de précision de la mesure.

Ce processus est en gros le suivant :

(a) Dans un premier temps, on conserve le mode opératoire de la mesure, et on fait la chasse à toutes les sources d'erreurs qu'il comporte. Autrement dit, on le perfectionne.

(b) Cependant, le perfectionnement d'un mode opératoire a des limites liées au jeu des lois du hasard ^[5]. Il vient un moment où la seule issue est de changer *qualitativement* de mode opératoire. Mais il faut alors se demander si la grandeur qu'on va désormais mesurer avec le nouveau mode opératoire est bien encore la même grandeur.

Le cas des étalons de longueur et de temps illustre bien ces particularités du processus. La question est posée depuis quelques années d'un changement de l'étalon de longueur, actuellement défini à partir de la mesure de la longueur d'onde d'une radiation du krypton 86. La précision relative de la mesure est de l'ordre de 10^{-8} (alors que celle de l'étalon de temps est de l'ordre de 10^{-11} ; d'où il résulte que la précision relative des mesures de vitesse, dérivées de mesures de longueur et de temps, est au mieux du même ordre de grandeur que celle des mesures de longueur). Or il se trouve que des mesures directes de la vitesse de la lumière atteignent maintenant, elles aussi, une reproductibilité aussi bonne ou meilleure que celle de l'étalon de longueur. On est ainsi amené à envisager de changer, non seulement d'étalon, mais de système d'étalons : d'abandonner l'étalon de longueur au profit d'un étalon de vitesse, rattaché à la mesure de la vitesse de la lumière ^[6]. Apparemment le nouveau système serait équivalent à l'ancien, à une meilleure précision près. Mais faisons l'hypothèse (actuellement rejetée en général par les cosmologistes, mais qui sait ce qu'il pourra en être à l'avenir ?) que la vitesse de la lumière ne soit pas restée constante au

cours de l'histoire de l'Univers : on comprend aussitôt que l'équivalence des deux systèmes repose sur une hypothèse théorique, et disparaîtrait si celle-ci devait être abandonnée.

Ces remarques peuvent sembler spéculatives. Mais il n'est que de les transposer à l'histoire des étalons de temps, dont les définitions successives ont admis puis rejeté les hypothèses d'une constance de la rotation diurne de la Terre, puis de son mouvement autour du Soleil (pour se replier jusqu'à nouvel ordre sur l'adoption d'un étalon spectrographique), pour comprendre qu'elles se rapportent à une situation de portée générale.

L'ambiguïté qui pèse ainsi, *universellement*, sur les définitions des étalons métrologiques, est typiquement une ambiguïté sémantique. Les aspects pratiques qui la constituent sont les suivants :

(a) Le resserrement de l'intervalle de précision d'une mesure par un changement qualitatif de son mode opératoire est une opération coûteuse en recherches et en équipements de laboratoire. On n'y procède que lorsque un besoin pratique s'en fait sentir. Or ce besoin est lui-même toujours lié à l'apparition de nouvelles techniques de mesure, conçues à des fins qui ne sont pas uniquement métrologiques, et dont la précision relative est au moins du même ordre de grandeur que celle de la mesure de l'étalon. Il s'ensuit que l'apparition du besoin, d'origine *pratique*, est en même temps celle des moyens *cognitifs* d'améliorer le mode opératoire standard de mesure de la grandeur concernée.

(b) Toute augmentation de la précision d'un étalon par un saut quantitatif, même quand il ne correspond pas à un changement de sa définition ayant une portée théorique, ouvre de nouvelles possibilités à l'expérimentation. Des aspects de certains phénomènes, que l'on confondait jusqu'alors, vont pouvoir être distingués, parce que la réduction du bruit de fond des expériences permet l'émergence de signaux qui jusqu'alors s'y trouvaient noyés (cf. l'exemple des découvertes des structures fines et hyperfines des spectres optiques). Si ce n'est pas l'ambiguïté de la grandeur étalonée qui se trouve elle-même révélée, ce sera celle d'autres grandeurs.

Ce second aspect *pratique* de l'évolution des étalons vers une précision plus grande engendre à l'évidence des conséquences *théoriques*. Elle appelle inmanquablement, tôt ou tard, une remise en chantier des théories disponibles, et la détection des ambiguïtés syntaxiques qu'elles recèlent. Force est de s'apercevoir que l'identité de concepts qu'il faut dorénavant distinguer n'appartenait pas à la « nature des choses », mais à son expression théorique : c'est elle qui la posait.

5. Le dépassement

Dans la dialectique des aspects cognitif et pratique de la connaissance scientifique (connaissance des choses d'un côté, connaissance pour la pratique de l'autre), c'est le second qui joue le rôle dominant lorsqu'il s'agit de décider d'un programme de recherches, ne serait-ce que parce qu'il s'agit de lui affecter des moyens pratiques. Qu'il s'agisse de produire des résultats pratiques ou expérimentaux, ou de créer des instruments scientifiques, et même si aucune application de production (industrielle ou autre) ne peut être entrevue, il s'agit au moins de produire des moyens de recherche pour d'autres recherches ultérieures, que l'on peut au moins pressentir d'après une connaissance générale de la conjoncture scientifique, et parfois identifier avec une certaine précision. Du moins en est-il ainsi lorsqu'il y faut des moyens notables (en hommes, en équipement, financiers).

C'est pourtant aussi un *caractère d'essence* de la pratique scientifique qu'elle dépasse, peu ou prou, les objectifs pratiques et *cognitifs* qui lui sont ainsi assignés. Les exemples qu'on pourrait en donner sont innombrables, et tout chercheur en trouvera dans son expérience personnelle autant qu'il en voudra. Celui de la découverte du rayonnement radio cosmologique, déjà cité, est évidemment particulièrement éclatant, puisque la recherche qui lui donna naissance n'était aucunement inspirée par les problèmes cosmologiques qu'elle devait engendrer.

La production de l'imprévisible doit ainsi paradoxalement entrer dans le champ de ce qui doit être prévu. Elle peut le faire cependant, mais de toute évidence seulement sous la forme d'une connaissance statistique globale (au moins pour un champ de recherches donné) de la production de l'imprévisible, et de sa *valeur* du point de vue de l'instance de décision concernée [7]. Toute politique de la science qui méconnaît ce potentiel de dépassement (même si son évaluation ne peut être faite que très imparfaitement) est grossièrement insuffisante, mesquine, et finalement stérilisante.

6. Où se trouve la rationalité de l'heuristique ?

La question ainsi posée renvoie d'abord à la signification de la rationalité elle-même. Il ne nous servirait pas à grand-chose de paraphraser ici les discussions qui, dans le *Vocabulaire technique et critique de la Philosophie* de Lalande, renvoient de « rationalité » à « rationnel », et de « rationnel » à « raison ». A peu près toutes les acceptions qui s'y trouvent

discutées (y compris quand elles interprètent de façon unilatérale le concept de *Vernunft* chez Hegel, qui mérite mieux) renvoient au seul fonctionnement de l'esprit.

Dans la dernière période cependant, et particulièrement dans des textes d'inspiration systémique (Atlan, Varela, etc.), l'idée d'une rationalité de l'heuristique scientifique inclut la possibilité de gouverner celle-ci d'une certaine manière grâce à la connaissance (imparfaite comme toute connaissance, mais non vide) de certaines de ses lois : en particulier en favorisant par des moyens techniques divers la création de formes qui pourraient être reconnues comme à la fois nouvelles et significatives. On n'accéderait évidemment pas ainsi à la possibilité de *prévoir* et par conséquent d'anticiper les formes futures de la connaissance (ce qui serait nier la réalité du temps en régressant vers un déterminisme que toute la science contemporaine condamne). Mais on pourrait au moins orienter le processus de leur engendrement. Il existerait alors un champ pratique d'applications des connaissances rationnelles, entendues en ce sens. Ce champ serait celui des *politiques de la science* de tous niveaux (des politiques personnelles de conduite des recherches par les chercheurs, jusqu'à celles des gouvernements et des organismes internationaux, en passant par celles des organismes institutionnels de recherche et des groupes industriels).

C'est dans ce sens que nous entendons ici la rationalité en général, et celle de l'heuristique scientifique en particulier : comme un *fondement de la détermination de l'action pratique des hommes par la connaissance théorique des choses*.

Dans le cas qui nous occupe, la connaissance théorique n'est pas celle de n'importe quelle chose, en général ; c'est celle du processus de découverte lui-même, qu'il s'agit de comprendre comme un phénomène objectif, concret. C'est ainsi que la science procède en toutes occasions : elle se donne pour objets des phénomènes objectifs, et les représentations théoriques qu'elle en propose sont sanctionnées par les actes pratiques qu'elles permettent.

Le phénomène auquel nous avons affaire, s'agissant d'heuristique scientifique, est essentiellement un *processus d'évolution*. Bien que les spéculations sur les analogies de l'évolution des connaissances et de l'évolution des espèces biologiques, assez fréquentes dans la littérature épistémologique, restent le plus souvent au niveau d'images métaphoriques superficielles passablement décevantes, il est légitime de se demander si les *formes* complètement différentes de la réalisation de l'évolution dans les deux cas – celle de la génétique des populations dans le cas de l'évolution

des espèces ^[8], celle d'un processus social dans celui de l'évolution des connaissances – ne reposent pas sur le socle de *structures* entretenant entre elles des correspondances plus ou moins étroites. Les remarques suivantes tendent à en suggérer quelques-unes.

6.1 Le « patrimoine théorique social »

L'ensemble des connaissances théoriques ne figure nulle part dans un répertoire encyclopédique formel. Elles sont implantées dans des individus concrets qui en sont les porteurs, avec l'aide de textes théoriques incarnés eux-mêmes dans des objets concrets, livres, revues, etc. Elles sont éclatées entre eux ; aucun individu n'en possède ni la totalité, ni l'exclusivité. Elles forment éminemment un *patrimoine social*.

Les connaissances théoriques ne sont pas seulement éclatées entre des individus divers. Lorsque plusieurs individus possèdent en commun un certain corps de connaissances théoriques, ils le possèdent avec des *variantes*. Nous avons noté plus haut le pouvoir heuristique inhérent à la possibilité de formaliser une même théorie sous des formes à la fois différentes et équivalentes. Ce n'est pas par l'effet d'une négligence ou d'une paresse scientifique que les théories formalisables sont si rarement formalisées (et seulement pour des usages spéciaux) : c'est qu'il est dans la nature des choses que l'on ait besoin de les utiliser sous des formes variées. C'est, comme on l'a vu, un facteur essentiel de la fécondité des démarches heuristiques. La fonction de la variabilité des expressions des théories (explicites ou implicites) se montre ainsi déjà singulièrement parallèle à celle de la variabilité des expressions du patrimoine génétique dans les génomes des êtres vivants, mis en évidence par le développement de la Génétique des Populations.

Les conditions qui créent la variabilité des expressions du patrimoine théorique social, à l'occasion des *replications* de ce patrimoine théorique, méritent elles aussi réflexion. Le patrimoine théorique social ne peut en effet se *conserver* qu'à la condition d'être sans cesse *renouvelé*, – et pour cela transmis à de nouvelles consciences. La transmission est l'œuvre de l'enseignement. Mais il ne suffit pas d'enseigner un cadre formel. Celui-ci n'est assimilé, comme Th. Kuhn le rappelle pertinemment, que par des exercices d'applications ^[9], et la source de ces applications se trouve toujours, ou presque, dans des applications pratiques des connaissances théoriques. L'exploitation et le développement de ce que nous avons appelé l'ambiguïté syntaxique des concepts scientifiques sont des produits de leur

ambiguïté sémantique. Et c'est d'abord à l'occasion d'applications pratiques que les connaissances théoriques sont transmises et que naît leur variabilité, en fonction des points de vue pratiques que prennent sur eux, en premier lieu, les praticiens. L'étudiant lui-même, soumis à l'enseignement et à ses exercices, les interprète en fonction de ses particularités personnelles, et notamment de ce qu'il a appris par ailleurs. Toute transmission de connaissances théoriques devient ainsi l'occasion de mutations plus ou moins locales, de plus ou moins grande portée, du patrimoine théorique social.

Une différence doit être ici relevée, notons-le, entre évolution des espèces et évolution des connaissances. Selon la conception que les biologistes, de façon très générale, se font actuellement de la première, l'action de l'environnement sur le génome se fait uniquement par rétroaction, par l'effet de la sélection naturelle ; dans l'évolution des connaissances, au contraire, l'action exercée par les pratiques sociales sur le « patrimoine théorique social » est une action directe. Il n'y a pas seulement « sélection naturelle des idées théoriques » ; la genèse de celles-ci se fait sous l'influence directe de l'environnement social. Peut-être trouverait-on dans cette particularité l'une des principales raisons de l'extraordinaire rapidité de l'évolution des connaissances scientifiques, comparée à la lenteur de l'évolution des espèces.

6.2 Fonction des modèles

Jusqu'à présent la discussion a porté pour l'essentiel sur le concept de théories et sur la dynamique de leur évolution. Elle ne saurait être complète sans faire un sort au concept de modèle, et non pas seulement à cause du rôle que les *idées systémiques* ont joué dans l'apparition de nouvelles conceptions de l'heuristique scientifique, et de l'importance centrale du concept de modèle dans la pensée systémique : mais tout simplement parce que *toute pensée pratique humaine s'exprime universellement par la modélisation des situations pratiques auxquelles elle s'affronte*.

Une discussion complète ou seulement quelque peu approfondie du concept de modèle sortirait du cadre qui est ici le nôtre. Elle demanderait une réflexion sur les notions, d'une part de modèles *conceptuels* (dont les modèles mathématiques sont l'expression la plus achevée) et *matériels* (tels que les modèles réduits, et autres) ; et, d'autre part, de modèles *théoriques* et *empiriques*. Comme le processus d'évolution des connaissances suppose la rétroaction du modèle sur la théorie, c'est de modèles théoriques qu'il

sera question avant tout, et même de modèles conceptuels théoriques – parce que tout modèle théorique, y compris les modèles matériels théoriquement justifiés, passe par la construction d'un ou de plusieurs modèles conceptuels ^[10]. Au demeurant ce qui en sera dit concernera aussi, dans une large mesure, les autres types de modèles.

De façon générale, un modèle est un processus (artificiel) qui représente un autre processus (naturel, ou lui-même artificiel), de telle sorte que des correspondances puissent être établies entre des moments homologues des deux processus. Les données de sortie fournies par le modèle, à partir des données d'entrée fournies par le processus représenté, permettent une certaine connaissance de celui-ci (plus ou moins approchée), et une action sur lui. Un modèle conceptuel a la forme d'un calcul (éventuellement exécuté par un ordinateur), résultant d'une spécification d'un programme qui en autorise des variantes. Le modèle peut être qualifié de théorique lorsqu'il existe une théorie du modèle et une théorie du processus représenté dont les correspondances justifient la représentation du second par le premier.

Insistons : la fonction déterminante du modèle est une fonction *pratique* ; il permet d'agir ; sa fonction de connaissances est subordonnée à sa fonction pratique. Du point de vue pratique, les caractères dominants d'un modèle sont les suivants :

(a) Tout d'abord, sans le modèle, l'acte pratique auquel il se réfère n'aura pas lieu, ou seulement à un coût très excessif : on ne construit pas un pont sans en faire un projet. Il arrive que le modèle soit implicite, il arrive qu'il prenne forme progressivement en même temps que se développe le processus pratique qu'il a pour fonction de représenter ; mais *il n'existe pas d'acte d'une pratique humaine qui ne soit modélisé*.

(b) Ensuite, le coût d'usage du modèle est minime, quand il n'est pas infime, comparé aux coûts propres de l'*effectuation* de l'acte modélisé (ces coûts propres peuvent être des coûts de production dudit acte, des coûts de fonctionnement consécutifs, ou des indicateurs plus ou moins précis des risques liés à sa réalisation ; ou encore, des « coûts négatifs », évaluant les avantages espérés de l'acte en question).

(c) Enfin, la trace du modèle disparaît du produit final de l'acte pratique.

Ces trois caractéristiques nous suggèrent en quoi consiste la fonction du modèle : c'est une fonction de *catalyse*. Dans l'analogie biologique que nous suivons à la trace, l'analogie du modèle, c'est l'enzyme (et N.B. : le

modèle ne ressemble ni plus ni moins au processus qu'il modélise que l'enzyme aux molécules qu'il a pour charge d'assembler ; il n'y faut qu'une certaine conformité de la structure des sites actifs à la forme des molécules).

*
* *

Les quelques remarques précédentes sont évidemment très sporadiques. Telles quelles, elles invitent cependant à se demander s'il peut exister un jour une science générale des structures de l'évolution.

Quoi qu'il en soit, elles laissent de côté une question proprement philosophique, qu'on ne peut éviter d'affronter : celle de la *finalité*, en l'occurrence de l'évolution des connaissances, à laquelle Jacques Monod, dans le cas de l'évolution des espèces, a répondu en recourant au concept de «téléonomie» : les espèces vivantes se comportent «comme si» leur finalité était de perdurer, parce qu'autrement elles n'existeraient tout simplement pas ; et elles ne peuvent perdurer qu'en se transformant. Cette conception de la finalité de l'évolution est sans doute transposable à celle des connaissances scientifiques. A une condition : c'est qu'il soit compris que ce qui évolue pour perdurer, ce ne sont pas les «idées» scientifiques, mais tout simplement l'humanité elle-même, par le moyen de ses connaissances scientifiques. En ce sens on peut dire, en transposant une formule célèbre de Clausewitz, que l'évolution des connaissances, c'est la poursuite de l'évolution des espèces par d'autres moyens.

Ajoutons seulement, pour conclure, que la morale et la liberté de l'homme de science, c'est d'abord d'intérioriser la téléonomie de sa pratique par l'effet de cette pratique et de la perception subjective de ses conditions objectives (ce que les individus des autres espèces vivantes ne font pas), et par là de la transformer en *finalité vraie*, en finalité consciente.

Notes et références

[1] Pour personnaliser, disons que l'école «inductionniste» a été représentée au XXème siècle par des penseurs comme Bertrand Russell, Carnap, Reichenbach, etc. ; et l'école «intuitionniste» par Ch. Peirce et Popper (l'un et l'autre invoquant des palliatifs pour éviter de sombrer dans un irrationalisme d'un extrémisme indéfendable : «réduction» chez le premier, report d'une grande fraction du rôle du travail d'invention sur le travail critique chez le second).

[2] KUHN T., *La structure des révolutions scientifiques*, (Trad. Fr.), Flammarion, Paris, 1972.

[3] LOI M., «Rigueur et ambiguïté», dans l'ouvrage collectif *Penser les mathématiques*, Le Seuil, Paris, 1982.

[4] BOUCHAREINE P., «Le laser, le mètre et la seconde», *La Recherche*, n° 91, juillet-août 1978, p. 634 et suiv.

[5] Nous ferons ici par exception une remarque d'ordre technique, parce qu'elle est à la fois très éclairante et très élémentaire, et à notre connaissance rarement ou jamais faite : supposons que les erreurs aléatoires du mode opératoire sont indépendantes en probabilité et d'écart-types $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$. L'écart-type de l'erreur globale est $\sigma = (\sum \sigma_i^2)^{1/2}$. Supposons maintenant que nous annulons la première erreur, d'écart-type σ_1 . L'écart-type de l'erreur globale n'est pas diminué dans la proportion σ_1/σ , mais seulement environ $1/2 (\sigma_1/\sigma)^2$. Pour $\sigma_1 = 1/10 \sigma$, la réduction relative de l'erreur globale est de $1/200$ environ ; pour $\sigma_1 = 1/100 \sigma$, elle n'est plus que de $1/20000$, c'est-à-dire tout à fait négligeable. Le perfectionnement du mode opératoire, dans ces conditions, n'a une efficacité notable que lorsqu'il porte sur l'élimination des erreurs systématiques, et des erreurs aléatoires prédominantes ; lorsque les corrections correspondantes ont été faites, l'erreur globale est formée d'un très grand nombre d'erreurs élémentaires de même ordre de grandeur, dont plus aucune ne vaut la peine d'une correction.

Remarquons encore que l'erreur aléatoire réelle de toute mesure faite avec un autre mode opératoire (en principe moins précis) que celui du ou des étalons auxquels elle se rapporte, est la somme des erreurs de ce mode opératoire d'une part, et de celles des mesures des étalons d'autre part ; le même raisonnement que ci-dessus montre alors que si les premières sont assez grandes par rapport aux secondes, l'effet de ces dernières devient tout à fait négligeable : tout se passe pratiquement comme s'il n'y avait pas d'erreur d'étalonnage (si l'on veut améliorer la précision de la mesure, ce ne sera jamais en agissant sur celles des étalons).

[6] Cette circonstance n'est pas la seule qui sollicite un changement de l'unité de longueur ; les longueurs d'onde des émissions de certains lasers sont elles aussi obtenues

avec des reproductibilités égales ou supérieures à celle de l'actuel étalon, de sorte que l'on peut aussi envisager un simple changement de l'étalon de longueur ; on n'y insistera pas ici, parce que le recollement d'un nouvel étalon de ce type à l'étalon actuel ne pose pas les mêmes problèmes de fond.

[7] cf. notre article «Hasard et systèmes, quelques remarques», *Revue internationale de systémique*, vol. 2, n° 1, 1988.

[8] RUFFIE J., *Traité du vivant*, Fayard éd., Paris,

[9] *La structure des révolutions scientifiques*, op. cit., notamment pp. 221 sq.

[10] Etant entendu qu'il existe des modèles conceptuels empiriques.

REVUE INTERNATIONALE DE SYSTEMIQUE
Vol. 3, N° 1, 1989, pp. 21 à 42

APPROCHE SYSTÉMIQUE APPLIQUÉE A L'ÉTUDE DE LA CRÉATION D'ACTIVITÉS NOUVELLES

Ferri BRIQUET

Laboratoire de Recherche en Informatique de Metz¹

I.U.T. de Metz

Résumé

Ce travail porte sur la création d'activités nouvelles en général, qu'il s'agisse de création d'entreprise ou de diversification. Le but poursuivi est de mettre au point une méthode de pilotage de projet industriel. Pour cela nous avons réalisé une approche systémique du système entreprise, puis identifié les différentes phases de sa transformation de l'étape de l'idée à celle de l'activité.

Abstract

This research work concerns the creation of new activities in a general way, whether it's to create a new firm or to diversify the activities. We want to create a method for the industrial project piloting. So we use a system analysis to study the firm system, and we found six stages ranging from the basic idea stage through to the activity stage.

L'obstacle le plus fréquemment rencontré par le créateur d'entreprise est sa propre méconnaissance du management de projet. Ce constat est à l'origine d'un travail de recherche d'une méthodologie de pilotage de projet. Dans ce travail, nous avons généralisé l'étude de la création en considérant que la création d'entreprise ne constitue qu'un cas particulier de la création d'activités nouvelles. L'idée à l'origine de cette recherche exprime la croyance dans la possibilité d'opérer un découpage en étapes de la création d'activités nouvelles.

1. Ile du Saulcy, 57045 Metz Cedex.