

Modélisation : une approche épistémologique

Gérard Sensevy, Jérôme Santini

▶ **To cite this version:**

Gérard Sensevy, Jérôme Santini. Modélisation : une approche épistémologique. Aster, 2006, 43, pp.163-188. halshs-00856541

HAL Id: halshs-00856541
https://shs.hal.science/halshs-00856541

Submitted on 15 Jun 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.

Copyright

Modélisation : une approche épistémologique

Gérard Sensevy, CREAD, université Rennes 2 ; IUFM de Bretagne ;
gerard.sensevy@bretagne.iufm.fr

Jérôme Santini, CREAD, université Rennes 2 ; IUFM de Bretagne ;
jerome. santini1@ac-nice.fr

Nous développons dans cet article une approche épistémologique de la modélisation à partir des travaux de deux auteurs de l'école de Stanford, Cartwright et Hacking, et de leur référence commune à Fleck. Dans cette approche, il s'agit de se défaire de l'idée classique du modèle comme simple application ou représentation de lois scientifiques. Avec les auteurs cités, nous entendons montrer pourquoi les modèles sont intrinsèquement contextuels et sont affaire de capacités plus que de lois, comment ces modèles réalisent l'articulation du concret de l'expérience avec l'abstrait de la théorie et sont, enfin, l'expression d'un collectif de pensée. De cette épistémologie novatrice, nous dégageons de premières implications didactiques pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences

Dans cet article, nous procédons tout d'abord (section 1) à une réflexion épistémologique relative à la notion de modèle. Nous appuyant principalement sur les travaux de Cartwright (1983, 1999), Fleck (1934/2005), et Hacking (1983/1989), nous proposons une manière particulière de décrire l'activité scientifique qui nous paraît, à la fois, plus rigoureuse et plus respectueuse de la réalité de cette activité que la plupart des descriptions classiques, et d'un certain pouvoir heuristique pour la recherche en didactique.

Dans la seconde partie de l'article (section 2), nous envisageons certaines implications didactiques possibles issues de la réflexion conduite dans la première partie.

1. Modèle, style de pensée, expérimentation

1.1. Qu'est-ce qu'un modèle ?

La conception de ce qu'est un modèle dépend sans doute étroitement d'un système d'idées relatif à ce que sont la science et l'activité scientifique même. Selon l'épistémologie – au sens de la théorie de la connaissance – dans laquelle on se situe, le modèle, au sein de la théorie qui l'intègre, pourra être pensé différemment. Dans ce qui suit, nous voulons présenter une conception que nous pourrions qualifier d'empirique, et cela à un double titre : empirique parce qu'elle tente de réévaluer l'importance de l'expérience, de la situation, et des instruments, dans la production continue des modèles ; mais empirique aussi parce qu'elle s'efforce continûment de produire une épistémologie de la science telle qu'elle se fait[1], et non à partir de la description plus ou moins scolastique que certains épistémologues classiques ont pu en produire[2].

• Modèle, localité et multiplicité

Concevoir un modèle, c'est, sous une certaine description, produire une loi. Quelle peut être alors la nature d'une telle loi ? Cartwright écrivit en 1983 un livre au titre provocateur : *How The Laws of Nature Lie* [3]. Contrairement à ce que pourrait laisser penser ce titre, il ne s'agit pas d'un ouvrage d'épistémologie relativiste, qui contesterait la prétention de la science à dire le vrai, mais plutôt d'une invitation à s'éloigner d'une conception universaliste de la science, au sein de laquelle les lois de la nature, valables toujours et partout, gouvernent nos expériences. Cartwright a développé depuis ce point de vue, et voici comment elle envisage un modèle emblématique, F = ma, qui lui paraît paradigmatique d'une science réelle, dans laquelle on utilise des concepts précis reliés par d'exactes relations déductives : *« En mécanique, nous avons ce genre de relation exacte, mais au coût d'introduire des concepts abstraits comme* force*, concepts dont la relation au monde doit être médiée par des concepts plus concrets. Ces concepts plus concrets se révèlent très spécifiques dans leur forme : les formes sont données par les modèles interprétatifs de la théorie, par exemple, deux masses compactes séparées par une distance r, l'oscillateur harmonique linéaire, ou le modèle pour une charge se déplaçant dans un champ magnétique uniforme. Ceci assure à* force *un contenu très précis. Mais cela signifie aussi que ce contenu est sévèrement limité dans sa gamme d'applications. Il ne peut être attaché seulement qu'à ces situations qui peuvent être représentées par ces modèles hautement spécialisés »* [4] (Cartwright, 1999, p. 3). On comprend

1 En cela, cette épistémologie se rapproche de la moderne sociologie des sciences (Bloor, 1982 ; Latour, 1995), sans en partager toutefois nombre de caractéristiques.

2 Nous reviendrons *infra* (paragraphe 4 dans cette partie 1) sur la caractérisation de cet empirisme.

3 *Comment les lois de la nature mentent.*

4 Nous avons produit nous même la traduction, volontairement quasi-littérale, de toutes les citations de Cartwright reproduites dans cet article. Certaines fois, nous avons fait suivre un terme particulier par le mot anglais utilisé par l'auteur.

donc l'argument : les sciences produisent des modèles explicatifs du monde, mais pas du monde tel qu'il est, bien plutôt du monde tel qu'il est reconstruit dans l'enceinte expérimentale : cela ne diminue en rien la vérité des assertions scientifiques, et la conception empirique n'est nullement relativiste. Au contraire, pourrait-on dire, puisqu'elle décrit la science comme production complexe et organisée de la *vérité* (au sein de ces situations représentées par des modèles hautement spécialisés), le « localisme » seul pouvant précisément garantir cette vérité : il s'agit donc de réévaluer l'importance des situations dans lesquelles le vrai s'élabore.

Cartwright peut ainsi énoncer l'une des thèses fondamentales de son propos : « *L'impressionnant succès empirique de nos meilleures théories physiques peut faire arguer en faveur de la vérité de ces théories mais pas pour leur universalité. Plutôt, c'est le contraire qui est le cas. La manière propre dont la physique a l'habitude de générer des prédictions précises montre quelles sont ses limites. Les concepts abstraits théoriques de la haute physique décrivent le monde via les modèles qui interprètent ces concepts plus concrètement. Ainsi, les lois de la physique s'appliquent seulement où ses modèles s'ajustent (*fit*), et cela, apparemment, inclut seulement un domaine très limité de circonstances* » (*ibid.*, p. 4).

Cartwright propose ainsi un arrière-fond tout à fait particulier au travail épistémologique, en empruntant une grande partie de son argumentation à Neurath (1882-1945), savant et politique, membre fondateur du cercle de Vienne. L'une des fonctions de cet arrière-fond consiste à lutter contre la tendance, forte selon elle, à se représenter l'édifice des sciences comme celui d'une pyramide, au sommet de laquelle on trouve la physique, la psychologie occupant la base de cette pyramide (figure 1).

Figure 1. La pyramide des sciences (*Cartwright, 1999*, p. 7)

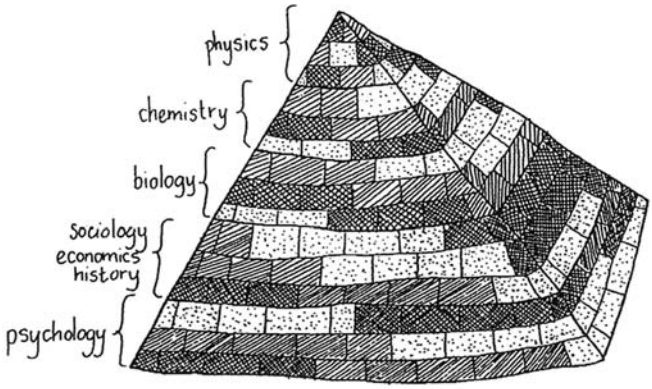


Figure 0.1 Pyramid. Source: Rachel Hacking.

Le cœur de cette représentation réside en ceci : *« les lois et concepts de chaque domaine scientifique sont réductibles à ceux d'un domaine plus fondamental, tous disposés selon une hiérarchie »* (Cartwright, 1999, p. 6). Il faut saisir, ici, les liens logiques existant entre l'universalisme des lois de la physique, et le type de réductionnisme que la conception pyramidale suppose. Considérer les lois de la physique comme universelles justifie ce réductionnisme particulier qu'est le physicalisme : puisque les lois de la physique sont universelles (et indépendantes des contextes), elles sont valables partout, et on peut donc ramener tous les processus (en particulier les processus vitaux) à des processus physiques, sans les dénaturer.

Cartwright, en s'appuyant sur Neurath (1983), propose alors une vue alternative, qu'on peut figurer comme sur la figure 2.

Figure 2. Le monde pommelé (*Cartwright, 1999,* p. 8)

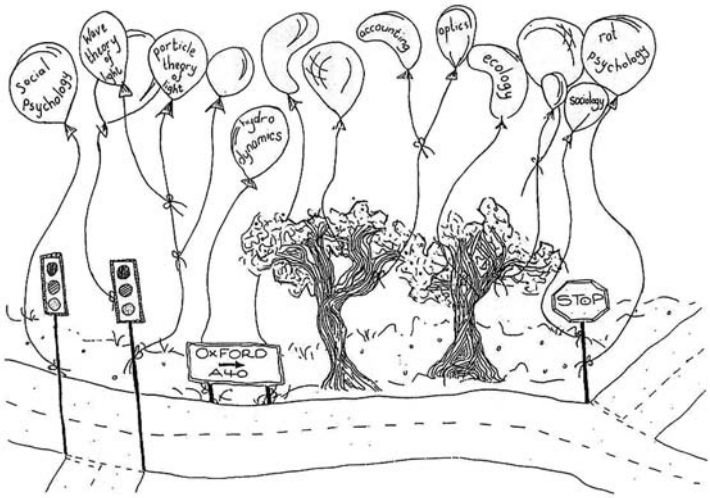


Figure 0.2 Source: Rachel Hacking.

Elle commente ainsi ce dessin : *« Les sciences sont pour chacune d'entre elles reliées, à la fois pour ce qui concerne les applications et les confirmations, au même monde matériel ; leur langage est le langage partagé des évènements spatio-temporels. Mais au-delà, il n'y a pas de système, pas de relations fixes entre elles. Les ballons peuvent être attachés ensemble pour coopérer de différentes manières dans différents agrégats quand nous avons besoin d'eux pour résoudre des problèmes différents. Leurs frontières sont flexibles ; elles peuvent être expansées ou contractées ; elles peuvent même en arriver à couvrir une partie du même territoire. Mais il y a indubitablement des frontières. Il n'y a pas de couverture universelle des lois »* (*ibid*., p. 6).

On voit donc se dessiner, en lieu et place d'un monde de lois universelles architecturant un ensemble de sciences hiérarchiquement emboîtées les unes dans les autres, rendues parfaitement commensurables par la réduction physicaliste, un

« monde pommelé[5] *»*, fait de domaines scientifiques en partie incommensurables les uns aux autres, et dans lequel ont disparu les relations de hiérarchie conceptuelle.

Non seulement l'idée qu'il existe des concepts fondamentaux de la physique auxquels peuvent se réduire les concepts des autres sciences est battue en brèche, mais encore il découle de cette vision des choses qu'aucune hiérarchie entre sciences de la nature et sciences de l'homme et de la société n'est posée *a priori*.

• De l'abstrait au concret : l'analogie fable/modèle

Une telle conception n'est pas sans effet sur la manière dont on peut concevoir la réalité d'un modèle scientifique. De fait, dans la description pommelée de l'épistémologie empirique, un enjeu essentiel réside dans la compréhension du passage du concept abstrait (par exemple celui de force, en physique), aux concepts plus concrets – les modèles interprétatifs de la réalité, hautement spécialisés. Comprendre la science et ses modélisations, c'est donc comprendre ce passage de l'abstrait au concret : *« ce dont nous avons besoin pour comprendre la manière dont les lois scientifiques s'appliquent au monde (fit the world), c'est la relation entre l'abstrait et le concret ; et pour comprendre cela, cela aidera de penser aux fables et à leurs morales. Les fables transforment l'abstrait en concret, en faisant cela, je prétends qu'elles fonctionnent comme des modèles en physique. La thèse que je veux défendre est que la relation entre la morale et la fable est la même que celle existant entre une loi scientifique et un modèle »* (*ibid*., p. 37).

Considérons la fable suivante, empruntée à un auteur des *Lumières* allemandes, Lessing (1729-1781) : *« Une martre mange la grouse ; un renard étrangle la martre ; la dent du loup, le renard »* et sa morale : *« Les plus faibles sont toujours proies des plus forts »*.

Cartwright reprend l'argumentation de Lessing pour caractériser la fable, notamment selon ses fonctions épistémologiques et cognitives. Au plan épistémologique, l'idée fondamentale de Lessing est que *« la connaissance intuitive*[6] *»* est claire en elle-même, et que la connaissance symbolique *« emprunte sa clarté à [la connaissance] intuitive »* (Lessing, cité par Cartwright, *ibid*., p. 38). Lessing en arrive ainsi à l'argument suivant : *« pour donner à une conclusion symbolique générale toute la qualité dont elle est capable… nous devons la réduire au particulier afin de la connaître intuitivement »* (*ibid.*).

Cette réduction au particulier joue un rôle tout à fait essentiel dans le mécanisme à la fois épistémologique et cognitif de la fable, comme le montre cette autre citation de Lessing travaillée par Cartwright : *« le général existe seulement dans le*

5 C'est le titre du livre de Cartwright (1999) : *The dappled world. A Study of the Boundaries of Sciences.*

6 Au sens des Lumières allemandes, est intuitive la connaissance qui provient des *idées* que nous nous faisons des choses, est figurale (ou symbolique) celle qui provient des signes que nous leur avons substitués. Pour une analyse éclairante des relations entre idées et signes, on peut notamment se reporter à Hacking (1975).

particulier et peut seulement devenir visualisable (anschauend) dans le particulier » (*ibid.*). Il s'agit bien de comprendre, ici, que la fable ne constitue pas une allégorie : dans la fable étudiée, la martre ne ressemble pas au plus faible, elle est la faible du renard, comme elle est la forte de la grouse.

Cartwright résume alors comme suit l'apport de Lessing et de sa manière de comprendre les fables :

« Le compte-rendu (account) de l'abstraction que j'emprunte à Lessing pour décrire comment fonctionnent les théories physiques contemporaines nous procure deux conditions nécessaires. Tout d'abord, un concept qui est abstrait par rapport à un autre ensemble de descriptions plus concrètes ne s'applique jamais sans que l'une des plus concrètes descriptions ne s'applique en même temps. Ce sont ces descriptions qui peuvent être utilisées pour « aménager » (fit out) *la description abstraite dans chaque occasion donnée. Deuxièmement, satisfaire la description concrète associée qui s'applique à une occasion particulière correspond à la satisfaction de la description abstraite pour cette occasion »* (*ibid*., p. 39). Il faut comprendre, dans une telle perspective, qu'on a bien affaire à deux niveaux de description, l'un plus abstrait, l'autre plus concret, qui ne sont pas emboîtés l'un dans l'autre comme peuvent l'être le genre et l'espèce. Cartwright illustre ceci par l'exemple suivant : si l'on me demande ce que j'ai fait ce matin, je peux dire *« j'ai travaillé »* ou bien *« j'ai lavé la vaisselle »*. Aucun de ces énoncés n'est réductible à l'autre, en particulier parce que chacun est relié à des jeux de langage et à des formes de vie spécifiques (ceux relatifs au mot *travail* et ceux relatifs à l'expression *laver la vaisselle*).

Cette relation abstrait-concret, au cœur de la fable, est donc aussi au cœur des modèles de la physique et Cartwright va au bout de l'analogie : *« Considérons F = ma. Je prétends qu'il s'agit d'une vérité abstraite relative à des assertions à propos des positions, des mouvements, des masses, et des étendues, de la même façon que la morale de Lessing « Les plus faibles sont toujours proies des plus forts » est abstraite relativement aux plus concrètes descriptions qui l'aménagent (*fit out*). Être soumis à une force d'une certaine intensité, disons F, est une propriété abstraite, comme être plus faible que. La loi de Newton dit que si quelque chose a cette propriété, il en a d'autres, en particulier une masse et une accélération qui, multipliées l'une par l'autre, donnent la valeur numérique déjà mentionnée, F. C'est comme dire que quelqu'un de plus faible sera aussi une proie pour le plus fort »* (*ibid.*, p. 43).

Cartwright en vient ainsi à l'une de ses thèses principales :

*« Force – de même que les divers autres termes de la physique – n'est pas un terme concret dans le sens où l'est un prédicat de couleur. Il est plutôt abstrait, sur le modèle de travail, ou être plus faible que ; et dire qu'il est abstrait signifie pointer qu'il est toujours adossé (*piggyback*) à des descriptions plus concrètes. Dans le cas de la force, les descriptions plus concrètes sont celles qui utilisent les concepts traditionnels de la mécanique, comme position, étendue, mouvement et masse. La force est alors,*

selon mon compte-rendu, abstraite relativement à ces concepts de la mécanique ; et étant abstraite, elle peut seulement exister dans des modèles mécaniques particuliers » (*ibid*., p. 45).

• Contexte et machine nomologique[7]

Est-ce à dire qu'un modèle scientifique est en tout point assimilable à une fable ? Certes non. La fable permet de comprendre la structure logique du modèle qui sous-tend la narration, mais certainement pas d'en saisir la spécificité. Après avoir montré tout le profit, notamment dans la compréhension fine de la relation abstrait/concret, qu'on peut tirer de l'analogie fable = modèle, Cartwright s'emploie à déterminer en quoi un modèle scientifique peut se spécifier. Pour cela, elle forge la notion de *« machine nomologique »*, qu'elle définit comme : *« un arrangement (suffisamment) fixe de composants, ou facteurs, avec des capacités (suffisamment) stables, qui, dans une sorte d'environnement adéquat (suffisamment) stable, donnera lieu, au moyen d'opérations répétées, au type de comportements réguliers que nous figurons dans nos lois scientifiques »* (*ibid.*, p. 150).

La centration sur la notion de *machine nomologique* permet de préciser un aspect fondamental de la relation entre lois, modèles et contextes : il s'agit d'une relation de dépendance mutuelle qui, d'une certaine manière, interdit de penser une loi donnée sans le contexte au sein de laquelle elle est vraie. Décrire une machine nomologique, c'est précisément décrire ce type de relations entre modèle et contexte. Un aspect essentiel de ces relations réside dans les conditions de clôture[8] (*shielding conditions*). Par exemple, lorsque Newton établit l'intensité de la force requise pour garder une planète dans une orbite elliptique ($F = – GmM/r^2$), une condition de clôture/protection est cruciale : une orbite elliptique n'est observée que si 2 corps interagissent en l'absence de tout autre corps massif, et de tout autre facteur qui puisse modifier le mouvement.

Nous pouvons d'ores et déjà porter attention au vocabulaire utilisé : celui de *« capacités »* et de « *comportements »*. C'est en grande partie dans le langage utilisé que Cartwright construit une épistémologie qui lui permet de se dégager du physicalisme, et de relier l'épistémologie de la science à celle de la vie quotidienne. Cartwright montre en effet qu'il existe une parenté étroite entre la notion de capacité qu'on peut attribuer, dans la vie quotidienne, à tel ou tel objet ou telle ou telle personne, et la notion de capacité scientifique qu'elle utilise pour donner corps à la notion de machine nomologique. Penser en terme de capacité, c'est en effet se rendre sensible au fait que tel objet (au sens large) possède un pouvoir, une potentialité[9], et que la description du comportement de cet objet peut gagner

7 L'adjectif nomologique réfère au grec *nomos*, qui signifie loi. Une machine nomologique, c'est donc une machine à produire des lois, ou à illustrer des lois.

8 On pourrait également traduire *shielding condition* par « condition d'enceinte ».

9 La conception de l'action humaine en terme de capacité prend sa source dans Aristote et dans sa notion de *dynamis* (la *potentia* latine) qu'on a traduit par puissance, potentialité, tendance, ou *capacité*.

à lui attribuer les potentialités qui sont les siennes. Par exemple, si l'on a affaire à quelqu'un d'irritable, pour reprendre l'exemple utilisé par Cartwright, lui attribuer cette capacité d'irritabilité nous permettra de comprendre – voire de prédire – certains aspects de son comportement qui nous resteront opaques si nous ne le faisons pas.

Cependant, élaborer une telle parenté entre les capacités quotidiennes et les capacités scientifiques ne signifie nullement les assimiler.

En effet, *« les modèles nous fournissent un ensemble de composants et leur arrangement »*, et le rôle de la théorie consiste à nous dire *« comment les capacités sont exercées ensemble »*. Mais pour cela, il faut saisir que *« les capacités déployées dans les modèles que nous construisons dans les sciences exactes diffèreront des capacités auxquelles nous référons dans la vie de tous les jours »* (*ibid.*, p. 53). Pour mettre cela en évidence, Cartwright compare deux types de capacités, celles qu'on obtient en disant de quelqu'un qu'il est irritable, d'une part, et celles, d'autre part, qu'on peut voir à l'œuvre dans une machine nomologique (l'exemple choisi étant la loi de Coulomb).

Elle distingue trois différences marquantes. La première est la suivante : au-delà du fait que ces deux types de capacités sont *« hautement génériques »* et *« donnent naissance à une grande variété de comportements »*, c'est la relation entre la capacité et ses manifestations qui constitue un enjeu important de l'activité scientifique : *« une part du travail (*job*) de la science consiste à trouver les connexions systématiques qui existent et à construire une méthode enseignable*[10] *pour les représenter »* (*ibid.*, p. 54). La seconde différence entre une capacité de la vie quotidienne et une capacité scientifique comme la loi de Coulomb réside dans le fait que cette dernière possède une *« forme fonctionnelle exacte et une force précise, qui sont contenues dans sa loi particulière elle-même »* (*ibid.*). La troisième différence tient au fait que *« nous connaissons certaines lois explicites relatives à la manière dont la capacité de Coulomb se combinera avec d'autres, décrites par différentes lois de force, pour affecter les mouvements des particules chargées »* (*ibid.*).

On le voit, considérer les modèles scientifiques sous la description des capacités ne consiste pas à les banaliser dans un relativisme oublieux de leur spécificité et de leur puissance. Il s'agit bien plutôt d'utiliser certaines notions du quotidien (comme celle, précisément, de capacité) et les conceptualisations qu'elles permettent afin de se rendre mieux capable, précisément, d'identifier ce qui fait cette spécificité et cette puissance.

10 Où l'on perçoit comment l'activité scientifique comporte une dimension didactique organique dès ses premiers moments.

• Machines nomologiques, capacités, langage

Les machines nomologiques qui sont ainsi décrites nous font donc comprendre comment l'activité scientifique permet d'obtenir une vérité contextuelle. Dans la même perspective, le fait de penser les modèles et les lois en termes de capacités et de comportements fournit les moyens d'établir un certain type de continuité entre l'épistémologie du quotidien et l'épistémologie scientifique, tout en identifiant avec précision certains éléments de rupture entre les deux types d'épistémologie[11].

Il s'agit donc, nous dit Cartwright, de voir la science comme connaissance de capacités, et non comme connaissance de lois. Et, ajoute-t-elle, *« quand nous refusons de reconstruire notre connaissance comme connaissance de capacités, nous dénions beaucoup de ce que nous savons et nous transformons la plupart de nos meilleures inventions en pures devinettes. Ce qui est important à propos des capacités est leur ouverture (*open-endness*) : ce que nous savons à leur propos suggère des stratégies plutôt que des conclusions déjà écrites »* (*ibid.*, p. 59). Cartwright montre en particulier qu'une capacité ne saurait être assimilée à une disposition, en ceci que les termes des dispositions, usuellement, sont liés un par un à des régularités type-loi (*law-like regularities*). Une manière de s'en persuader peut être de considérer (de nouveau) la loi de Coulomb ($F = -q_1 q_2 / 4\pi\varepsilon_0 r^2$, pour 2 particules de charge q_1 et q_2, séparées par une distance r). Que nous dit *« la loi de Coulomb à propos des mouvements de la paire de particules. Elle ne nous dit absolument rien. Avant qu'un mouvement quelconque ait pu être fixé, les particules doivent être placées dans un environnement adapté ; précisément le type d'environnement que j'ai décrit comme une machine nomologique. Sans cet environnement spécifique, aucun mouvement n'est déterminé »* (*ibid.*, p. 59). Ainsi, poursuit Cartwright, ce que nous pourrions appeler le *« comportement naturel »* pour des charges opposées est de se déplacer l'une vers l'autre, et pour des charges similaires, de se repousser. Mais ceci ne constitue nullement un effet *in abstracto*. On peut même imaginer, nous montre l'auteur, des environnements au sein desquels *« la répulsion entre 2 particules négativement chargées les amène à se rapprocher »* (*ibid.*). Ce qui différencie une capacité, dans son ouverture, d'une disposition, c'est bien le fait *« qu'elle donne naissance à des comportements hautement variés »*, alors que les dispositions sont « *usuellement liées à des manifestations uniques* » (*ibid.*, p. 64). Corrélativement, le langage pour nommer les capacités reflète cette ouverture, avec un degré de spécificité de plus en plus grand lorsqu'on va de la capacité générale à la manifestation spécifique[12].

11 La question centrale du rapport épistémologique entre *« le sens commun »* et la *« pensée scientifique »* peut être alors repensée dans une dialectique entre rupture et continuité qui permet de réunir les apports de Bachelard et de Dewey - sur ce dernier point, cf. Fabre (2005).

12 Cartwright reprend ici la distinction produite par le philosophe anglais G. Ryle (1949) entre les verbes référant à des *« dispositions hautement génériques »* (les capacités selon Cartwright), et les verbes référant à des *« dispositions hautement spécifiques »* (les dispositions selon Cartwright). On peut décrire le travail d'un pêcheur en disant qu'il pêche (disposition spécifique), mais pas le travail d'un épicier en disant qu'il fait de l'épicerie (on dira plutôt qu'il coupe du jambon, ou qu'il emballe telle nourriture, etc.), précisément parce que le travail d'épicerie renvoie à une disposition *« hautement générique »*, c'est-à-dire une capacité selon Cartwright. Notons que cette distinction n'est nullement absolue, mais relative, ce qui nous semble le propre de la distinction générique/spécifique.

1.2. Modèle et style de pensée

Les considérations qui précèdent veulent contribuer à la caractérisation des modèles et du processus de modélisation en ce qu'ils sont spécifiques aux sciences. Il nous paraît important de dégager également des dimensions génériques au processus de catégorisation lui-même. Pour faire cela, nous allons tout d'abord mettre l'accent sur des éléments toujours spécifiques à la modélisation scientifique, mais dont les conséquences nous paraissent importantes dans la perspective d'une compréhension plus large du processus de modélisation. Nous aborderons ensuite la question du style de pensée.

• Modèle et référence : le holisme du modèle

Un modèle scientifique, si on le considère comme l'épure d'une machine nomologique, ne peut se comprendre indépendamment d'un arrière-fond nécessaire à son appréhension. Cet arrière-fond peut se décrire à différents niveaux de spécificité : pour comprendre la loi de Newton, par exemple, il est nécessaire et, on l'a vu, non suffisant de partager un certain nombre de connaissances conceptuelles (par exemple la notion de force, de masse, d'accélération). Mais il faut également disposer de notions beaucoup plus communes, comme celle d'égalité, et celles de multiplication[13]. Au-delà, ce sont les notions d'action, de réaction et d'objet qui doivent être appropriés, d'une manière à la fois voisine du sens commun, mais aussi différente, le sens commun fournissant une sorte de base première redéfinie dans l'usage de la loi[14]. Si l'on considère les choses encore plus génériquement, on se persuadera qu'un nombre quasi-infini de connaissances, aucunement spécifiques du modèle, sont tout de même nécessaires aux opérations de catégorisation sur lesquelles le modèle repose. Nous désignons par holisme du modèle cette dépendance du spécifique du modèle au générique d'objets et d'opérations de pensée cristallisées dans le langage. Dès que l'on considère un modèle dans son usage effectif, on prend conscience d'un très grand nombre de nécessités dont beaucoup, même triviales, conditionnent son application.

• Style de pensée

L'usage d'un modèle doit donc se penser d'une manière holistique, en appui sur des catégories générales qui tiennent au sens commun tel qu'il est déposé dans le langage. Mais cette dépendance doit être précisée. Pour cela, il nous semble décisif de prendre conscience que ce sens commun est, pour une grande part, lui-même spécifique au domaine de pensée dans lequel le modèle est en usage.

13 Notions certes plus communes mais qui doivent être, d'une certaine manière, revisitées dans leur emploi au sein de la loi de Newton.

14 Tiberghien *et al.* (2005) montrent ainsi comment les termes d'action ou d'objet, en mécanique, sont à la fois en lien étroit avec le sens commun (si l'on ne connaît pas le sens commun du mot « action » ou du mot « objet », on n'a aucune chance de pouvoir décrire correctement un système mécanique) et en rupture avec le sens commun (puisqu'on va pouvoir parler de l'objet « terre », ou de « l'action du stylo sur la table »), dans un jeu de langage spécifique dont l'appréhension va éventuellement constituer un obstacle pour les élèves.

Pour expliciter cela, Fleck (1934/2005) a créé le concept de *style de pensée*. Dans *Genèse et développement d'un fait scientifique,* sur l'exemple de l'emploi de la réaction de Wassermann[15] dans l'étude de l'histoire de la syphilis, Fleck montre qu'on ne saurait appréhender le concept moderne de syphilis sans comprendre sa genèse et ce qu'elle doit aux conceptions anciennes et mythiques, de la maladie – par exemple le fait qu'être malade de la syphilis suppose un *« sang gâté »*. La dépendance du modèle scientifique aux conceptions plus larges et plus populaires est ainsi patente. Fleck montre également, avec des accents annonciateurs du paradigme khunien[16], comment le style de pensée s'arc-boute nécessairement à un collectif de pensée : à partir des découvertes scientifiques, *« se constitue un système de faits universellement interconnectés, maintenant son équilibre grâce à des interactions continuelles. Cet entrelacs serré confère au « monde des faits » une constance massive et éveille le sentiment d'une réalité fixe, de l'existence indépendante d'un monde… Nous appelons le « porteur » communautaire du style de pensée : le collectif de pensée. Le concept de collectif de pensée, suivant l'usage que nous en avons fait pour analyser le conditionnement social de la pensée, n'équivaut pas à un groupe fixe ou à une classe sociale. C'est pour ainsi dire un concept plus fonctionnel que substantiel, comparable par exemple au concept de champ de force en physique*[17]*… »* (Fleck, 1934/2005, p. 179). Ces collectifs de pensée et styles de pensée peuvent concerner des collectifs très restreints (jusqu'à deux individus seulement), *« entre lesquels il se crée un état d'esprit particulier qui, sinon, n'affecterait aucun des participants et qui très souvent revient à chaque fois que les personnes concernées se rencontrent »* (*ibid.*, p. 180). Mais leur force tient à ce qu'ils caractérisent avant tout les institutions[18] : *« outre ces collectifs de pensée momentanés, produits par hasard, il existe des collectifs de pensée stables ou comparativement stables : ces derniers se constituent en particulier autour de groupes*

15 La réaction de Wassermann est un test, pratiqué depuis le début du XX^e siècle, pour diagnostiquer la syphilis. Elle utilise l'identification de l'antigène d'un microbe dans le sérum d'un malade.

16 Il est intéressant de constater que Kuhn a rédigé la préface de l'édition anglaise du livre de Fleck. Latour, quant à lui, dans la postface à l'édition française, conteste ce type de filiation en affirmant que *« rien dans la succession des paradigmes, des anomalies, puis des révolutions, ne correspond à la complexité du scénario imaginé par Fleck pour rendre compte de l'innovation en science… Kuhn a, si l'on peut dire, rerationalisé et profondément désocialisé ce que Fleck avait inventé. Passer du style collectif au paradigme, c'est vider l'événement de pensée de toutes ces interactions, en faire une banale épistémé à la manière de Foucault »* (Latour, *in* Fleck, 1934/2005, p. 260). Il est édifiant de lire dans la préface de Kuhn que celui-ci reproche précisément à Fleck d'osciller entre une vue psychologisante du collectif de pensée et une vue sociologique qui rende effectivement compte de la contrainte logique qu'exerce le collectif : *« ce que le collectif de pensée fournit à ses membres est donc quelque chose de proche des catégories kantiennes, préréquisits à toute pensée. L'autorité d'un collectif de pensée est donc plus logique que sociale, même s'il elle n'existe pour l'individu que par la vertu de son introduction dans un groupe »* (Kuhn, *in* Fleck, 1934/1979). La pensée de Kuhn n'est donc pas « *désocialisante* », comme le pense Latour, mais elle essaie au contraire de mettre au jour en quoi le social produit des contraintes logiques, dans une acception de ce dernier terme qui n'est pas celui de la logique mathématique, mais celui de la grammaire des pensées et des actions au sens de Wittgenstein (1953/2004). Il nous semble, pour notre part, que c'est exactement le projet de Fleck que de montrer en quoi le style de pensée, socialement produit, fonctionne comme une sorte d'*a priori* kantien. Cf. *infra*.

17 On perçoit ici ce que Fleck semble devoir aux conceptions relationnelles de l'activité scientifique telle qu'elles ont été dégagées par Cassirer (1914/1977).

18 En donnant à ce dernier terme le sens de « groupe social légitimé », à la manière de l'anthropologue britannique Mary Douglas (1987/1999, 1996), pour laquelle le livre de Fleck a constitué une référence constante (son livre de 1996 étant expressément intitulé *Thought Styles*).

sociaux organisés. Si un groupe social important existe depuis suffisamment longtemps, alors un style de pensée se fixe et devient une structure formelle. L'exécution pratique prend alors le pas sur l'état d'esprit créatif qui s'abaisse à un niveau fixe, discipliné, uniforme et discret. La science actuelle, en tant que structure spécifique de collectifs de pensée se trouve dans cette situation » (*ibid.*).

On le voit, un style de pensée constitue donc une structure formelle fonctionnelle qui, selon Fleck, affecte quasi-inexorablement tout collectif suffisamment stable. Cette structure est formelle en tant qu'elle constitue une théorie du monde ; elle est fonctionnelle en tant qu'elle est, à la fois, condition et résultat de l'activité collective. Une telle conception du style de pensée pourrait toutefois donner lieu à un intellectualisme très éloigné des préoccupations de Fleck.

• Style de pensée et perception

Pour s'éloigner de cet intellectualisme, dans lequel le style de pensée apparaîtrait comme un système de conceptions en partie détaché du réel, nous pouvons en venir à la définition que donne Fleck : un style de pensée est caractérisé par *« la disposition pour une perception dirigée et pour une assimilation conforme de ce qui a été perçu »* (*ibid.*, p. 247). C'est dire que parler de style de pensée, c'est d'abord envisager en quoi c'est la perception même, au sens premier du terme, qui est affectée par la cognition et l'affecte en retour[19]. Fleck peut ainsi déclarer : *« La perception visuelle directe d'une forme (*gestalt*) demande d'être expérimentée dans un domaine de pensée particulier : ce n'est qu'après de nombreuses expériences[20], éventuellement après avoir reçu une formation, que l'on acquiert la capacité de remarquer directement des sens, des formes, et des unités fermées sur elles-mêmes. Il est vrai que dans le même temps on perd la capacité de voir ce qui est en contradiction avec ces formes. Une telle disposition pour une perception dirigée constitue cependant l'élément principal du style de pensée »* (*ibid.*, p. 161). Le livre de Fleck est ainsi plein d'exemples saisissants dans lesquels il est patent que les systèmes sémiotiques de représentation (anatomiques, par exemple) ne peuvent être fidèles à la nature : même les bonnes images *« sont travaillées de façon à être explicites, toutes sont schématiques, symboliques presque, toutes sont fidèles non pas à la nature mais à la théorie… Dans la science, tout comme dans l'art ou dans la vie, il n'y a pas d'autre fidélité à la nature que la fidélité à la culture »* (*ibid.*, p. 66). On perçoit donc que tout modèle, dès l'instant où il s'exprime sur l'arrière-fond d'un style de pensée, suppose ce que Fleck appelle une *« harmonie des illusions »* ou une *« harmonie intrinsèque du style de pensée… laquelle*

19 Ici, on voit comment, Fleck rompt avec ce que le logicien et philosophe américain Hilary Putnam décrit comme *« une idée désastreuse qui hante la philosophie occidentale depuis le XVII^e siècle, l'idée que la perception implique une interface entre l'esprit et les objets "extérieurs" que nous percevons »* (Putnam, 1999, p. 43). Cette rupture avec la perception comme (simple) interface est sans doute proche de la notion moderne d'affordance (Gibson, 1986 ; Norman, 1988 ; Beauvois & Dubois, 2000) à condition de dégager cette dernière de la connotation biologiste qui lui est souvent attachée, pour reconnaître ce que les affordances doivent aux catégories socialement constituées.

20 Nathalie Jas, la traductrice du livre de Fleck, précise que le mot expérience doit s'entendre ici au sens *« d'événement vécu susceptible d'apporter un enseignement »*. Cette notion particulière d'expérience est probablement décisive dans le système conceptuel de Ludwick Fleck.

engendre une applicabilité des résultats scientifiques et la croyance ferme en une vérité qui existerait indépendamment de nous mêmes » (*ibid.*, p. 153).

Penser le modèle sur l'arrière-fond d'un style de pensée, c'est donc à la fois le considérer dans sa vertu productive de faits et de relations en tant qu'épure d'une machine nomologique reconnue dans un collectif de pensée, dans sa vertu productive d'une perception dirigée à travers cette machine nomologique par ce collectif de pensée, et dans sa vertu inhibitrice d'autres faits et d'autres relations au sein de l'harmonie intrinsèque à un style de pensée.

1.3. Modèle et expérimentation

Penser le modèle dans un style de pensée nous amène donc à concevoir la perception, et donc l'observation, en lien avec un collectif de pensée. C'est dans la perception même, pour réunir Cartwright et Fleck, que nous effectuons ce passage de l'abstrait au concret que Cartwright désigne comme le propre de la fable ou du modèle. Une lecture (trop) rapide de Fleck pourrait laisser penser, dans une sorte de kantisme primaire, que nous ne pouvons observer que ce que nous avons dans la tête. Mais il semble que l'étude effective de la science en train de se faire montre une relation matériellement beaucoup plus complexe, dans laquelle à la fois, d'une part, la théorie contraint la nature même des observables et des systèmes sémiotiques qui en réalisent l'inscription (force de l'abstrait) et, d'autre part, les phénomènes produits par les instruments atteignent à une certaine autonomie qui agit en retour sur la théorie (force du concret). Nous allons développer rapidement ce point en utilisant une étude de Hacking (1983/1989).

• Expérimentation, théories et instruments

Hacking commence la seconde partie de son livre *Concevoir et expérimenter* par une réévaluation de l'importance de l'expérimentation dans la science. Il y pose ainsi la question : *« Une expérience n'a-t-elle de sens que dans la mesure où elle contribue à vérifier une hypothèse ? »* (Hacking, 1989, p. 253). La réponse de Hacking est complexe, reposant sur la description d'un grand nombre d'exemples et sa discussion nous amènerait hors du cadre de cet article, mais on peut la résumer par les lignes suivantes : *« Certains travaux expérimentaux de grande portée proviennent intégralement de la théorie. Certaines théories fondamentales doivent tout aux expériences qui les précèdent. Certaines théories stagnent par manque de prise sur le réel, alors que certains phénomènes expérimentaux restent sans emploi par manque de théorie. On rencontre aussi des "familles heureuses" où théories et expériences de divers horizons s'harmonisent*[21] *»* (*ibid.*, p. 260). Cette réponse

21 Hacking donne alors en exemple la découverte expérimentale, en 1965, des radioastronomes Penzias et Wilson, qui mirent en évidence un *« phénomène absurde »* et pourtant *« bien réel »* : *« une petite quantité d'énergie, présente partout, uniformément répartie dans tout l'espace »*. Alors que *« l'idée d'une radiation de fond complètement homogène leur semblait absurde… un groupe de théoriciens de Princeton fit circuler un texte suggérant, chiffres à l'appui que si l'univers est issu du* Big Bang*, alors il doit y avoir une température uniforme partout présente dans l'espace, la température résiduelle de la première explosion »* (*ibid.*, p. 261). Exemple typique de « famille heureuse » où expérimentation et théorisation, produites indépendamment l'une de l'autre, s'épaulent mutuellement.

profondément nominaliste, où abonde l'adjectif *« certain (*some*) »*, aboutit à l'assertion suivante : *«… je ne prétends pas que le travail expérimental pourrait exister sans la théorie. Cela reviendrait à travailler à l'aveuglette comme les "purs empiristes" dont se moquait Bacon. Reste ce fait que, généralement, la plupart des recherches vraiment fondamentales précèdent toute théorie pertinente*[22] *»* (*ibid.*, p.260). Il s'agit donc, en fait, non de contester l'importance de la théorie dans la science, mais de rétablir l'équilibre en faveur de l'expérience, en contestant une philosophie des sciences *« dominée par la théorie »*, et en admettant que *« l'expérimentation mène parfois sa vie propre »* (*ibid.*, p. 347).

Une manière radicale de limiter cette domination consiste à réévaluer l'importance des instruments dans les sciences[23]. L'exemple du microscope apparaît tout à fait édifiant, pour lutter contre la conception idéaliste selon laquelle on n'observe que ce que la théorie permet de voir[24]. Hacking montre ainsi que des microscopes reposant sur des théories et donc des phénoménotechniques différentes (par exemple la micrographie fluorescente et la micrographie électronique) peuvent être utilisés pour détecter des corps et prouver ainsi que les configurations visuelles identifiées ne constituent pas des artefacts. Cela ne constitue pas seulement un plaidoyer pour une forme mesurée de réalisme épistémologique (les phénomènes que nous observons ont une existence en soi). Il s'agit surtout de comprendre que les instruments produisent des mondes spécifiques sans la fréquentation desquels (fréquentation répétée et insistante) aucune théorie ne saurait durablement se dégager. On peut alors arguer avec Hacking, en prenant l'exemple de l'étude de la cellule : *« En ce qui concerne la cellule, notre conviction ne provient pas d'une théorie à haute puissance déductive, une telle théorie n'existe pas, mais d'un grand nombre de généralisations solidaires et de faible portée nous permettant de contrôler et de créer des phénomènes avec le microscope. En bref, nous apprenons à nous déplacer dans le monde microscopique »* (*ibid.*, p. 338). Les instruments, par le fait qu'ils créent un *« monde de phénomènes »* dans lequel nous pouvons agir, produisent ainsi un milieu, partiellement indépendant des théorisations, et causalement contraignant.

• La fourmi, l'araignée et l'abeille

Pour penser les relations entre expérience et théorie, Hacking entreprend une réévaluation de Bacon, en commentant la métaphore fameuse de ce dernier : *« L'expérimentateur est comparable à une fourmi, il se contente de ramasser et d'utiliser ; le raisonneur ressemble à l'araignée qui tisse sa toile à partir de sa propre substance. Mais l'abeille choisit une voie médiane : elle rassemble le matériau provenant des fleurs sauvages et cultivées, mais c'est pour le digérer et le transformer par un pouvoir qui lui*

22 Traduction française un peu modifiée par nous-mêmes, Hacking écrit : *« It remains the case, however, that much truly fundamental research precedes any relevant theory whatsoever »* (Hacking, 1983, p. 158).

23 On est alors dans la perspective bachelardienne de phénoménotechnique (cf. *infra*, paragraphe 1.4).

24 Ce qui est fort différent de l'idée de Fleck selon laquelle il n'est pas de systèmes sémiotiques indépendants d'une théorie.

est propre. Assez comparable à cela est le vrai travail de la philosophie, car elle ne dépend pas uniquement ou principalement des pouvoirs de l'esprit, pas plus qu'elle ne prend le matériau provenant de l'histoire naturelle et des expériences de mécanique pour le déposer tel quel dans la mémoire, mais plutôt elle le dépose dans la compréhension, digéré et transformé ».

« Par conséquent », continue Bacon, *« des liens plus intimes et plus purs entre ces deux facultés, l'expérimentale et la rationnelle, on peut attendre beaucoup (et à un point qui n'a jamais été atteint) »* (Bacon, cité par Hacking, *ibid.*, p. 397).

L'idée centrale, pour Bacon et pour Hacking, c'est que *« réduite à elle-même »*, chaque catégorie (*« l'expérimentale »* et la *« rationnelle »*) produit peu de connaissance. Hacking poursuit : *« Qu'est-ce qui caractérise la méthode scientifique ? C'est sans doute qu'elle met ces deux aptitudes en contact au moyen d'une troisième, que j'ai appelé « articulation » et « calcul »*[25] *[…] Le fait remarquable à propos de la physique nouvelle est qu'elle crée une nouvelle entité humaine collective en donnant libre cours à trois intérêts humains fondamentaux, la spéculation, le calcul, et l'expérience. En engageant ces trois intérêts à collaborer, elle leur apporte une richesse dont ils auraient été autrement privés »* (*ibid.*, p. 398-399).

On arrive ainsi, par un autre chemin, à un carrefour atteint par Cartwright : une machine nomologique est précisément le lieu de convergence réel de ces trois aptitudes, puisqu'elle permet, dans la clôture/protection de l'enceinte expérimentale, de convertir la forme abstraite de la loi en capacités et comportements qui actualisent ce que Hacking nomme *« articulation »*.

• Qu'est-ce qu'une représentation ?

Avant d'en venir à tenter un positionnement épistémologique et didactique de l'ensemble de ce qui précède, nous voudrions terminer par quelques considérations relatives à la notion de représentation. L'ensemble des lignes qui précèdent, on l'aura compris, tente de faire admettre une vision de la science plus proche à la fois de l'expérimentation et de l'expérience effective, et une conception des modèles et de l'activité de modélisation plus dépendante de la matérialité réelle de l'activité scientifique. Dans une telle perspective, les systèmes sémiotiques par lesquels cette activité se déploie jouent un rôle fondamental et la notion de représentation elle-même se dégage du mentalisme qui lui est souvent inhérent[26] pour gagner un sens matériel et public. Nous suivrons là encore Hacking : *« Les êtres humains sont des représentateurs. Non pas* homo faber*, dis-je, mais* homo depictor*. Les humains produisent des représentations… Les humains créent des simulacres (*likenesses*). Ils peignent des tableaux, imitent le caquetage de la poule, modèlent l'argile,*

25 Hacking produit, pour la notion d'articulation et de calcul, la définition suivante : « par « calcul », je n'entends pas un simple alignement de chiffres, mais l'altération mathématique d'une hypothèse donnée qui se trouve ainsi en résonance plus intime avec le monde » (*ibid.*, p. 345).

26 Sur cette question, cf. notamment Sensevy (2002).

façonnent le cuivre. Telles sont quelques-unes des représentations qui, dès l'origine, caractérisent les êtres humains. Le mot "représentation" a un lourd passé philosophique. On s'en est servi pour traduire le Vorstellung *kantien, une chose que l'on place devant l'esprit, un mot, qui désigne à la fois des images et des pensées abstraites. Kant avait besoin d'un terme pour remplacer la notion d'"idée" des empiristes anglais et français. Ce que j'entends par «représentation" est exactement l'inverse de l'acception kantienne. On ne peut pas toucher une idée lockienne, mais seul un gardien de musée peut nous empêcher de toucher quelques-unes des premières représentations produites par nos ancêtres. Selon Kant, un jugement est la représentation d'une représentation, la mise devant l'esprit d'une mise devant l'esprit, doublement privée. C'est donc doublement ce que je n'appelle pas une représentation. Mais pour moi sont aussi des représentations certains évènements qui n'impliquent pourtant que le verbe*[27]*. Je ne fais pas allusion aux simples phrases déclaratives, qui ne sont sûrement pas des représentations, mais plutôt aux spéculations compliquées qui tentent de fournir une représentation de notre monde »* (*ibid.*, p. 221).

Gagner, comme le fait Hacking, un sens matériel et public aux représentations entre en consonance avec une conception de la science dans laquelle l'activité scientifique se déploie au sein de collectifs de pensée structurant (et structurés par) des styles de pensée. En effet, si la caractéristique première d'un style de pensée, c'est d'organiser la perception, alors la perception la plus décisive qui soit est la perception adéquate de systèmes sémiotiques spécifiques, de ces représentations au sens de Hacking, au moyen desquelles les modèles peuvent à la fois être exprimés, dans les descriptions concrètes qui les spécifient à des situations particulières, et articulés, dans les systèmes formels qui les caractérisent.

1.4. Modèles, styles de pensée, expérimentation : positionnement épistémologique, positionnement didactique

• Un nouvel empirisme

Il nous semble pouvoir trouver dans les lignes qui précèdent une conception épistémologique cohérente, à laquelle on pourrait associer des épistémologues comme Cartwright, Fleck ou Hacking, mais aussi un historien d'art comme Baxandall (1991), dans la lignée de la philosophie anglaise ou du pragmatisme américain. Les liens que l'on peut établir entre ces auteurs ne sont d'ailleurs pas le fruit de cette seule étude, et de loin. En effet, Cartwright et Hacking, tous deux un temps enseignants à Stanford, reconnaissent une mutuelle filiation à l'école de Stanford, dans laquelle on peut notamment ranger le philosophe de la biologie John

27 Hacking écrit ici *« some public verbal events can be representations »* (Hacking, 1983, p. 133).

Dupré[28]. Une telle tradition épistémologique trouve dans Ludwick Fleck un prédécesseur décisif : Hacking consacre ainsi une partie importante de son cours au Collège de France 2005-2006 à reprendre et travailler le concept de style de pensée (*Denkstil*) tel que Fleck nous l'a légué.

Cette conception cohérente pourrait, d'une certaine manière, être considérée comme un *nouvel empirisme*. Il s'agit d'un *empirisme*, nous l'avons dit, au double sens où l'accent est mis sur le rapport particulier que la science entretient avec l'expérimentation et sur l'étude effective de la science en action. Un empirisme renouvelé, notamment au plan philosophique, dans le sens où s'il s'agit toujours de *réhabiliter l'expérience*, mais dans un rapport nouveau entre celle-ci et la conceptualisation. La perception n'est plus conçue comme une interface entre le concept et la réalité (dans la conception cartésienne sous-jacente à l'identification des sensations telle qu'elle fut produite par Locke et Hume), mais comme indissolublement liée au concept. Cette conception, présente chez les trois auteurs approchés ici, suppose un lien particulier entre le concret et l'abstrait : l'abstrait (de la catégorie d'observation ou du modèle) permet le concret, mais il ne tire son sens que de son actualisation dans ce concret, d'où l'importance corrélative, pour l'activité scientifique, notamment dans l'instrumentation, de l'activité créative[29] de caractérisation/production des contextes. Cet empirisme renouvelé est donc un *contextualisme*.

• Une esquisse de positionnement épistémologique

Cette conception spécifique pourrait être caractérisée en référence à d'autres épistémologues importants, mais ce serait le sujet d'un autre article, et au-delà, d'un ouvrage. Toutefois, pour initier une telle perspective, on pourrait désigner deux types de relations.

Tout d'abord, en référence à Popper (notamment 1934/1973, 1963/1985), on pourrait dire que le nouvel empirisme, auquel nous faisons allusion ici, échappe aux apories de l'induction que Popper a mise en évidence. Contre les empiristes anglais (particulièrement Hume), Popper a montré que la connaissance ne peut être

28 Cartwright écrit ainsi dans *The dappled word* : *« Ce livre est nettement dans la tradition de l'école de Stanford et est profondément influencé par les philosophes des sciences avec lesquels j'ai travaillé là-bas. Ceci commença avec le pragmatisme de Patrick Suppes et le genre de chose qu'il a articulées dans Probabilistic Metaphysics. Puis il y eut Ian Hacking, John Dupré, Peter Galison et, pour une année, Margaret Morrison »* (Cartwright, 1999, p. ix). Hacking, quant à lui, souligne dans les remerciements de son ouvrage (Concevoir et Expérimenter, *op. cit.*) l'étroite parenté entre ses conceptions et celles de Cartwright : *« Le présent ouvrage fut conçu alors que Nancy Cartwright, du département de philosophie de l'Université de Stanford, travaillait sur son propre livre, How the Laws of Physics Lie. Nos deux livres ont plus d'un point commun… Nous ne partons pas des mêmes postulats anti-théoriques car elle considère les modèles et les approximations alors que c'est surtout l'expérience qui m'intéresse, mais nos conceptions convergent »* (Hacking, 1983/1989, p. 9).

29 Dans son troisième cours (Méthodes de raisonnement) au collège de France (2006), Hacking insiste sur cet aspect créatif en revenant sur son livre *Concevoir et expérimenter* : « Les chercheurs, au laboratoire, ne font pas qu'observer le monde : ils changent le monde, ils interviennent dans le cours de la nature… Dans un laboratoire on crée des phénomènes. Des phénomènes qui n'avaient pas d'existence avant leur création par les chercheurs. C'est pourquoi le titre de la deuxième partie de mon livre n'est pas *Expérimenter*, comme dans la traduction française, mais *Intervenir*, qui est plus fort ». On saisit la parenté forte avec la phénoménotechnique bachelardienne (cf *infra*).

directement issue des sens et des seuls énoncés d'observation que les sens permettent de produire. On l'a vu, la conception de la perception et de l'expérience sous-tendue en particulier par les travaux de Fleck dépasse largement cette conception de l'empirisme classique, puisque dans le processus de perception s'enchevêtrent organiquement percepts et concepts. Comme le remarque Armengaud (2003), pour Popper *« l'essentiel… n'est certes pas de fonder les sciences… Il faut abandonner la métaphore de "l'édifice" de la connaissance tout comme la quête de la certitude et la recherche du point de départ adéquat. Nous sommes bien plutôt "embarqués", et la métaphore la plus apte à décrire notre situation cognitive serait celle qu'offre O. von Neurath : il faut réparer le bateau en pleine mer et au coup par coup »*. On perçoit ici comment peuvent se rejoindre l'épistémologie popperienne et les conceptions explicitées dans cet article, dans une sorte de pragmatisme scientifique, anti-fondationnaliste[30] : la métaphore sollicitée par Armengaud commentant Popper (le bateau de Otto von Neurath) est celle-là même qu'utilise Cartwright dans son ouvrage. Cela dit, la convergence que nous soulignons ici ne doit pas occulter de réelles divergences, dont deux qui nous semble importantes.

La première réfère à la centration forte de Popper, en particulier dans ses premiers livres, sur la théorie. Hacking (2006) cite ainsi les phrases suivantes de Popper : « *Le théoricien pose certaines question déterminées à l'expérimentateur et ce dernier essaie, par ses expériences, d'obtenir une réponse décisive à ces questions-là et non à d'autres… [L'expérimentateur] lui-même n'a pas pour tâche principale de faire des observations précises ; son travail à lui aussi est pour une large part d'espèce théorique. La théorie commande le travail expérimental de sa conception aux derniers maniements en laboratoire* » (Popper, 1934/1973, p. 107). La conception de Hacking et de Cartwright (ainsi, sans aucun doute, que celle de Fleck) n'est pas opposée en général à de telles assertions (Hacking dit même que *« appliqués [aux exemples de la théorie de la relativité et de la théorie quantique], les propos de Popper ne sont pas faux »*), mais elle fait de la description popperienne un cas particulier au sein d'un processus beaucoup plus vaste et bigarré, qui rend justice au fait que comme le dit Hacking (1983/1989), *« les expériences ont leur vie propre »*, ou comme le dit Galison (1987/2002), *« les instruments scientifiques ont leur vie propre »*.

On pourrait relever une seconde différence : l'essentiel des thèses que nous avons analysées dans cet article est descriptif, non de la science telle qu'elle devrait être mais de ce qu'elle est effectivement. Contrairement à cela, la tendance de Popper est très souvent normative : « *mon problème est… de défendre ma position selon laquelle la science est la recherche de la vérité par la critique. Ma position est simple : très inventive et critique. Formule ta thèse le plus précisément possible ! C'est une règle normative, non pas une description de l'histoire des sciences, mais un conseil au savant pour améliorer la position de la science !* » (Lorenz & Popper, 1990, p. 71-72).

30 En désignant sous ce terme (« fondationnaliste ») une conception de la science où celle-ci permet d'atteindre au fondement même des choses.

Cette centration normative, chez Popper, pour précieuse qu'elle soit, semble être relativement absente des travaux étudiés dans cet article.

Une autre référence pourrait être utile ici pour contribuer à initier certains rapprochements conceptuels. C'est la notion bachelardienne de phénoménotechnique qu'il semble utile de convoquer pour cela. On sait que cette notion constitue un élément central pour Bachelard (1934/1991, p. 16-17), et qu'il la définit notamment comme suit : *« Entre le phénomène scientifique et le noumène scientifique, il ne s'agit donc plus d'une dialectique lointaine et oisive, mais d'un mouvement alternatif qui, après quelques rectifications des projets, tend toujours à une réalisation effective du noumène. La véritable phénoménologie scientifique est donc bien essentiellement une phénoménotechnique. Elle renforce ce qui transparaît derrière ce qui apparaît. Elle s'instruit par ce qu'elle construit »*. On perçoit alors le lien étroit qu'on peut établir d'un côté entre la centration sur l'expérimentation et les instruments propre à Hacking ou à Cartwright, ou sur la théorie immanente aux systèmes sémiotiques que Fleck met en évidence, et d'un autre côté la phénoménotechnique bachelardienne. Voir dans ce processus ce que Bachelard appelle *« la réalisation effective du noumène »* consonne avec ce passage de l'abstrait au concret qui constitue pour Cartwright la raison d'être des modèles, ou avec la notion de *« famille heureuse »* chez Hacking dans laquelle expérimentation, instruments, et théorie marchent de concert. Cette profonde similarité amène à donner un sens fort, dense, à la notion de phénomène et à sa production. Notons toutefois, au chapitre des différences, que là où Bachelard peut voir seulement *« quelques rectifications des projets »*, les épistémologues présentés dans cet article identifient une intense activité qui semble constituer pour eux le cœur même de l'activité du savant dans la constitution des machines nomologiques.

• Une esquisse de positionnement épistémologique en didactique

Il peut être utile de prolonger la confrontation avec des travaux épistémologiques directement liés aux perspectives didactiques. Nous évoquerons rapidement, pour cela, plusieurs auteurs, Martinand (1998), Orange (2000), et Tiberghien et Vince (2005).

Si l'on considère dans un premier temps la notion de registre (Martinand, 1998), nous serons amenés à distinguer, avec cet auteur, le registre du *« référent empirique, c'est-à-dire celui des objets, des phénomènes, et de leur connaissance phénoménographique… »* et *« le registre des modèles construits sur ces référents »* (Martinand, 1998, p. 6). On obtient donc une caractérisation à deux niveaux, l'activité didactique consistant en particulier dans la détermination de *« tâches ou problèmes »* impliquant *« des processus de modélisation que les élèves peuvent prendre en charge, en tout ou partie »*. Poursuivant la réflexion, Martinand (*ibid.*) montre la nécessité d'un troisième niveau, supposant la recherche d'une *« représentation à un niveau plus*

caché du réel ». Il nomme ce troisième niveau *« matrice cognitive*[31] *»*, ce troisième niveau comprenant à la fois *« des paradigmes épistémiques (conceptions de ce que doit être la connaissance, les formes, des "bonnes pratiques" théoriques ou empiriques), et les ressources théoriques (langages, schémas, théories) »* (*ibid.*, p.10).

Orange (2000), pour sa part, retrouve cette nécessité de trois niveaux de registre en caractérisant ce troisième registre comme *« registre explicatif »*, ou *« registre des références explicatives »*, *« qui donne sens aux explications en contrôlant les formes jugées acceptables »*. Dans ses études sur la notion de milieu intérieur chez Claude Bernard, Orange montre ainsi qu'alors même que l'espace des contraintes de la problématisation du milieu intérieur chez Claude Bernard évolue considérablement sur les deux premiers registres et sur leurs relations, le troisième niveau (les références explicatives) change relativement peu et pourrait continûment être représenté par les significations de « vitalisme physique », et de « déterminisme ».

Tiberghien et Vince problématisent la question de la modélisation d'une façon un peu différente, puisqu'ils construisent une double distinction : « *celle entre savoir quotidien et savoir de la physique, et pour chacun de ces savoirs celle entre théorie et description en termes d'objets et d'évènements d'une situation matérielle* » (Tiberghien & Vince, 2005, p. 5). Cette approche de la modélisation permet aux auteurs l'interprétation des difficultés des élèves, qui *« portent majoritairement sur l'établissement des liens entre le monde des objets et évènements et le monde de la théorie et des modèles »*.

Comme on le voit, l'ensemble de ces théorisations s'accorde à distinguer dans le processus de modélisation des domaines de la réalité plus ou moins abstraits, chacun de ces domaines devant être à la fois conceptuellement appréhendé et décrit pour lui-même au moyen de formes symboliques spécifiques, et mis en relation avec les autres domaines. L'intérêt des descriptions épistémologiques produites, en particulier à des fins didactiques comme celles que nous venons d'évoquer, nous semble résider spécifiquement dans le fait suivant : c'est à la fois au sein d'un même domaine (registre) et entre les différents domaines que le processus de modélisation s'établit. Ainsi, nous pouvons trouver une continuité réelle entre les conceptions développées par les épistémologues étudiés dans cet article et celles que les didacticiens des sciences ont élaborées. Si le travail essentiel du scientifique consiste à produire des relations entre formes abstraites (idéelles) relativement qualitatives et modèles à la fois plus concrets et mathématiquement articulés à la réalité expérimentale, alors les conceptualisations des didacticiens permettent de situer, à partir des espaces de contraintes (Orange, 2000) qu'ils peuvent déterminer, les directions de travail dans lesquelles doit nécessairement s'engager une didactique de la modélisation.

31 *« Dans une perspective un peu analogue »*, nous dit Martinand (*ibid.*), *« à celle des schèmes d'intelligibilité étudiés par J.-M. Berthelot en sociologie (1990) »*.

2. Implications didactiques : premières directions

Tout enseignement suppose une épistémologie, une théorie des connaissances qu'il transmet. Ainsi, on peut diffuser une conception dogmatique des sciences en les enseignant, ou une conception positiviste, relativiste ou sensualiste. La vision des sciences *« non-pyramidale »* et *« non-physicaliste »* que nous semblent défendre, chacun à sa manière, Cartwright, Fleck, et Hacking, implique-t-elle en retour une manière particulière de les enseigner ? Nous produirons, pour terminer cet article, certains linéaments de réponse à cette question.

2.1. Les relations entre abstrait et concret : instruments et situations

Les conceptions défendues par Cartwright relativement à la relation abstrait/concret (et qu'on pourrait synthétiser sous l'analogie modèle/fable) peuvent amener les recherches en didactique à se rendre davantage sensibles au processus de concrétisation et de contextualisation de l'abstrait que peut représenter l'activité scientifique. Il semble admis que dans l'activité scientifique les élèves doivent abstraire, et qu'ils doivent également « mettre la main à la pâte » dans une espèce particulière de tâtonnement expérimental[32]. Mais peut-être n'a-t-on pas encore pris suffisamment conscience de la nécessité et de la difficulté de cet aménagement de l'abstrait dans un particulier, que Hacking confie à *« l'articulation »* et Cartwright au fonctionnement de la *« machine nomologique »*. Cela suppose certainement un rapport didactique particulier aux formalismes mathématiques, dans lesquels le rapport à la référence puisse constituer un objet d'étude en tant que tel. Au-delà des formalismes mathématiques, les relations entre abstrait et concret, c'est-à-dire entre abstrait et particulier, posent la question des conséquences didactiques de ce *« nominalisme dynamique »* (Hacking, 2005) qui incite à comprendre les catégories dans leur genèse et donc dans la manière dont elles aménagent le monde. C'est l'opération de réduction au particulier qui semble ainsi décisive, et donc la question de sa transposition ou reproblématisation dans la classe.

Si les lois scientifiques sont localement vraies, sans nous permettre directement une explication du comportement des objets du monde, alors l'enseignement des sciences se doit de mettre les élèves en contact avec les modèles interprétatifs et les situations au sein desquelles ces modèles déterminent l'aménagement des lois. Ceci incite à accorder un soin tout particulier à la production des situations didactiques et des dispositifs qui doivent pouvoir produire les rétroactions à partir desquelles les apprentissages des élèves vont se construire. Cette sensibilité très grande des modèles aux situations, aux contextes qui leur donnent sens, et donc

32 Il faut comprendre que ce *« tâtonnement expérimental »* présuppose en lui-même un certain style de pensée : *« admettre la modélisation d'un volcan avec de la purée et de la confiture ne peut se faire que si on a déjà une connaissance théorique assez élaborée du fonctionnement de ce volcan. Idem pour le rift [en couches de sable coloré] »* (Orange, 2002, p. 19). En somme, comprendre le fonctionnement d'un modèle de volcan en purée, c'est déjà faire partie d'un certain collectif de pensée scientifique. C'est une perception orientée par ce collectif de pensée qui permet à celui qui en est membre de reconnaître dans de tels modèles les traits pertinents d'un volcan ou d'un rift.

aux conditions de clôture/production qui permettent de délimiter ces contextes, nous semble devoir constituer une dimension fondamentale en didactique des sciences. Une telle assomption incite à prendre toute la mesure de la difficulté à construire avec les élèves (et notamment ceux de l'école primaire) des situations dans lesquelles des connaissances, ou pour parler comme Cartwright, des comportements et des capacités soient réellement cristallisés.

2.2. Conceptions versus *représentations publiques*

Nous pensons que la focalisation sur les représentations, au sens quasi-kantien du terme, qui paraît contemporaine de la naissance même d'une grande partie de la didactique des sciences pourrait être avantageusement mise au second plan. Ce qui nous semble beaucoup plus déterminant, à la fois pour comprendre les sciences, leur enseignement, et pour aider les professeurs, c'est la centration, comme nous le signifiions au plus haut, sur les instruments et les systèmes sémiotiques au moyen desquels on obtient des *représentations publiques* des phénomènes étudiés. Pour le dire autrement, c'est la relation entre phénoménographie et phénoménotechnique (Martinand, 1998) qui nous semble ici décisive, et c'est donc la question des systèmes sémiotiques par lesquels nous rendons compte des inscriptions produites par les instruments qui devient majeure. Faire des sciences, c'est nécessairement déchiffrer des systèmes de signes en ayant compris la relation instaurée entre les capacités et comportements agissant sur et dans les instruments et ces systèmes de signes. Penser un dispositif didactique, c'est donc nécessairement penser aussi un système de signes (de symbolisation) et le rapport à construire entre ce système de signes et l'instrument dont il rend compte.

2.3. Collectifs de pensée et styles de pensée

Faire des sciences dans la classe suppose assurément de construire un collectif de pensée spécifique sur l'arrière-fond duquel le travail des élèves et du professeur va prendre corps. Ce collectif de pensée, comme le montre Fleck, se caractérise à la fois par ce qu'il permet, en tant que producteur de la grammaire des actions possibles et nécessaires dans la classe, et par ce qu'il inhibe : le style de pensée issu du collectif est ainsi un *« voir comme »* (Wittgenstein, 1953/2004) qui suppose l'ignorance de choses non vues parce qu'elle ne participent pas des évènements ou des objets pertinents pour ce style. Si le style de pensée est d'abord une disposition à percevoir d'une manière dirigée, alors une question didactique centrale réside dans les modalités concrètes d'inculcation, sur le long terme, d'une telle disposition, et dans la dialectique entre connaissance et ignorance que cette inculcation fait jouer.

On perçoit une nouvelle fois le rôle fondamental des instruments et inscriptions associées au moyen desquels professeur et élèves parviendront à des manières communes de percevoir.

Dans une telle perspective, l'enjeu d'enseignement pourra se décrire comme suit : élaborer dans la classe, à partir des rétroactions que les dispositifs mis en œuvre ont produites et dont les systèmes sémiotiques fournissent la représentation, un collectif de pensée dans lequel à la fois le professeur, pour ce qui le concerne, et les élèves, à leur place, assument une réelle responsabilité. La notion de collectif de pensée permet, aussi, de penser la participation des élèves à l'institution didactique. ■

BIBLIOGRAPHIE

ARMENGAUD J.F. (2003). Popper. *Encyclopaedia Universalis*. Paris : Encyclopaedia Universalis.

BACHELARD G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : PUF.

BAXANDALL M. (1991). L*es formes de l'intention*. Nîmes : J. Chambon.

BEAUVOIS J.L. & DUBOIS N. (2000). Affordances in social judgment: experimental proof of why it is a mistake to ignore how others behave towards a target and look solely at how the target behaves. *Swiss Journal of Psychology*, n° 59, p. 16-33.

BLOOR D. (1982). *Sociologie de la logique ou les limites de l'épistémologie*. Paris : Éd. Pandore.

CARTWRIGHT N. (1983). *How the laws of physics lie*. Oxford : Oxford University Press.

CARTWRIGHT N. (1999). T*he dappled world: a study of the boundaries of sciences*. Cambridge : Cambridge University Press.

CASSIRER E. (1914/1977). *Substance et fonction*. Paris : Éd. de Minuit.

DOUGLAS M. (1987/1999). *Comment pensent les institutions*. Paris : Éd La Découverte.

DOUGLAS M. (1996). *Thought styles*. London : Sage Publications.

FLECK L. (1934). *Genesis and development of a scientific fact*. Chicago : The University of Chicago Press.

FLECK L. (1934). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Éd. Les Belles Lettres.

FABRE M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle,* vol. 38, n° 3, p. 53-67.

GALISON P. (1987/2002). *Ainsi s'achèvent les expériences : la place des expériences dans la physique du xx*e *siècle*. Paris : Éd. La Découverte.

GIBSON J.J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

HACKING I. (1975). *Why does language matter to philosophy?* Cambridge : Cambridge University Press.

HACKING I. (1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Bourgois.

HACKING I. (2005). *Façonner les gens II.* Paris : Collège de France, 112 p., disponible sur Internet : http://www.college-de-france.fr/site/phi_his/p998922592913.htm (consulté le 6 septembre 2006).

HACKING I. (2006). *Méthodes de raisonnement*. Paris : Collège de France, 14 p., disponible sur Internet : http://www.college-de-france.fr/media/phi_his/UPL50860_methodesia3.pdf (consulté le 6 septembre 2006).

LORENZ K. & POPPER K. (1990). *L'avenir est ouvert*. Paris : Flammarion.

LATOUR B. (1995). *La science en action*. Paris : Gallimard.

MARTINAND J.-L. (1998). Introduction à la modélisation. In G.-L. Baron & A. Durey. *Les technologies de l'information et de la communication et l'actualisation des enseignements scientifiques et technologiques au lycée d'enseignement général et au collège – université d'été.* Paris : INRP – ENS Cachan, 12 p., disponible sur Internet : http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/Pdf/Modelisa.pdf (consulté le 6 septembre 2006).

NEURATH, O. (1983). *Philosophical papers 1913-46*. Dordrecht : Reidel.

NORMAN D.A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York, NY : Basic Books.

ORANGE C. (2000). La construction du concept de milieu intérieur par C. Bernard. (Essai d'analyse du point de vue de la construction du problème et de la modélisation). In Orange C. (dir.). *Changer ses connaissances sur le milieu intérieur*. Rapport de recherche INRP, IUFM des Pays de la Loire (coordination nationale, G. Rumelhard).

ORANGE C. (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Cahiers Pédagogiques*, n° 409, p. 19-20.

POPPER K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.

POPPER K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.

PUTNAM H. (1999). *The threefold cord. Mind, body, and world*. New York : Columbia University Press.

RYLE G. (1949). *The concept of mind*. London : Barnes and Noble.

SENSEVY G. (2002). Représentations et action didactique. *L'année des sciences de l'éducation, 2002*, p. 67-90.

TIBERGHIEN A., BUTY C. & LE MARÉCHAL J.-F. (2005). Physics teaching sequences and students'learning. In D. Koliopoulos & A. Vavouraki (Eds.). *Science and technology Education at cross roads: meeting the challenges of the 21st century. The second conference of edife and the second ioste symposium in southern europe*. Athènes: Association for Science Education (edife), p. 25-55.

TIBERGHIEN A. & VINCE J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du français contemporain*, n° 10, p. 153-176.

WITTGENSTEIN L. (1953/2004). *Recherches philosophiques*. Paris : Gallimard.