



**HAL**  
open science

## Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français.

Sabine Rabourdin

► **To cite this version:**

Sabine Rabourdin. Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français. . Implications philosophiques, 2015. hal-01456926

**HAL Id: hal-01456926**

**<https://hal.science/hal-01456926>**

Submitted on 6 Feb 2017

**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.

# Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français.

Sabine Rabourdin

## Résumé

Nous nous intéressons à la place de la symétrie dans la science à travers la question de son universalité. Pour cela, nous avons mené une série d'entretiens (70 en tout) semi-directifs avec des physiciens indiens et des physiciens français afin de déceler des éventuelles différences dans leur représentation du réel et de la science. Parmi les questions des entretiens, la symétrie avait une place de choix. Nous montrons les différences mais aussi les ressemblances entre les arguments des physiciens indiens et des physiciens français, concernant le rôle de la symétrie dans leur représentation du monde, et dans leur recherche. Nous proposons des pistes d'analyse pour expliquer le contexte culturel et historique, qui permet aux Indiens de mettre la symétrie au centre de leurs préoccupations. Nous émettrons aussi des hypothèses concernant le contexte culturel français. Au-delà de la question de la symétrie dans le cadre des sciences physiques, cet article est donc aussi une exploration de la non-symétrie culturelle, puisque nous mettons face à face des physiciens d'origines différentes, avec des particularités mais aussi des ressemblances. Si par « dissymétrie » nous nous permettons de signifier, non pas une absence totale de symétrie – qui serait alors une « asymétrie »- mais un manque de certains éléments de la symétrie, alors nous pouvons dire que nous avons mis à jour une dissymétrie culturelle dans le monde des physiciens.

## Introduction

La science a été décrite comme une activité qui se démarque par des caractères spécifiques dont les plus partagés sont la rationalité et l'universalité : « L'activité scientifique vise à acquérir une connaissance fondée en raison, dont la portée soit universelle » (Coenen-Huther, 2002, p.221). Que la connaissance possède une portée universelle, cela semble un objectif louable. Mais peut-on penser que chaque humain - puisqu'il s'agit bien de ce groupe en guise d'universalité - appréhende une connaissance donnée de la même manière ? Pour tenter de répondre à cette question, nous nous sommes penchés sur la question de la symétrie, un principe dont la portée est a priori universelle, et à ses corollaires : dissymétrie et asymétrie. Ce texte s'intéresse donc à la place de la symétrie dans l'univers de la science à travers la question de son universalité.

Nous avons mené une série d'entretiens (70 en tout) semi-directifs avec des physiciens indiens et des physiciens français afin de déceler des éventuelles différences dans leur représentation du réel et de la science. Parmi les questions des entretiens, la symétrie avait une place de choix. Deux questions y faisaient référence, de manière directe, d'autres questions, de manière indirecte. Quelques différences notables sont apparues entre les groupes de physiciens français et indiens, à la fois qualitativement et quantitativement.

Nous allons développer cet article selon deux axes. Dans un premier temps, nous procéderons à une analyse des discours : quels sont les arguments des physiciens qui justifient leurs réponses à ces deux questions sur la place de la symétrie en science ? Nous montrerons les différences mais aussi les ressemblances entre les arguments des physiciens indiens et des physiciens français, concernant le rôle de la symétrie dans leur représentation du monde, et dans leur recherche. Dans un deuxième temps, nous proposerons des pistes d'analyse pour expliquer le contexte culturel, historique, qui permet aux Indiens de mettre la symétrie au centre de leurs préoccupations. Nous émettrons aussi des hypothèses concernant le contexte culturel français. Enfin, nous concluons sur la portée de ces différences et de ces ressemblances.

Au delà de la question de la symétrie dans le contexte des sciences physiques, cet article est donc aussi une exploration de la dissymétrie culturelle, puisque nous mettons face à face des physiciens

d'origines différentes, avec des particularités mais aussi des ressemblances.

## I. Horizon de recherche

Peu d'études ont été faites dans l'analyse culturelle ou nationale des représentations de notions scientifiques, telles que la symétrie. Il faut déjà préciser ce que l'on entend par « culture » dans notre cadre d'analyse, car les notions d' « identité » et de « culture » recouvrent plusieurs acceptions épistémologiques. « L'identité est une donnée complexe à appréhender, en raison à la fois de sa transversalité disciplinaire et des rapports dialectiques qui fondent les réseaux conceptuels auxquels elle peut être associée » (Férreol, Jucquois, 2004, p.155). Nous adhérons à la définition de la culture comme « un ensemble de schèmes interprétatifs qui permettent à chacun, au sein de ce cadre spécifique, de produire et de percevoir les significations sociales de ses propres comportements et de ceux d'autrui. » (Clanet, 1990, p.15) Les références pouvant servir de garde-fou dans le domaine de l'analyse culturelle des représentations scientifiques sont rares. « Plus souvent en effet, on s'est attaché à saisir l'émergence du neuf à l'échelle de petits groupes et non le maintien d'une tradition – jamais parfaitement stable- au sein d'un groupe très stable- et par là-même différencié. » (Pestre, 1984, p.4) Une des rares références est Dominique Pestre, qui, dans son livre *Physique et physiciens en France* de 1984, analyse les « spécificités nationales » des physiciens Français de l'entre-deux guerres. Il ne s'est pas à proprement parler intéressé par les représentations des physiciens, mais par les démarches d'enseignement et de recherche. Son approche est cependant novatrice car il se place en retrait par rapport à Gaston Bachelard et plus globalement à l'épistémologie française de son époque, pour qui, faire l'histoire des sciences c'était se centrer sur le « surrationalisme » des savants. Pestre estime que l'histoire des sciences doit se préoccuper des aspects non-rationnels des scientifiques. Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, Duhem avait déjà tenté de déceler des différences sensibles entre les physiciens anglais et des Français puis des Allemands, dans *La théorie physique* (1906). Marie-Jo Nye a également décrit des spécificités françaises dans l'organisation de la recherche en physique en France à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle (Nye 1986). Jean Gayon a dressé un remarquable état des lieux des travaux sur la catégorie en histoire des sciences où il montre que les travaux sur les spécificités nationales sont rares, intéressants mais aussi délicats. En effet, cela impose de ne pas basculer dans des généralités ni des considérations identitaires. C'est pourquoi, lorsque les historiens s'appliquent à établir l'existence d'un style national dans tel ou tel secteur de la science, il s'agit surtout « d'identifier les traditions institutionnelles qui expliquent la persistance de styles ou stéréotypes nationaux de comportement scientifique » (Gayon, 1996). Mais l'exemple de Dominique Pestre montre que l'enjeu est valable. Celui-ci se revendique proche d'Alexandre Koyré, de Thomas Kühn, de Paul Forman, dans le sens où il estime que « l'objet de l'histoire des sciences est avant tout de démêler, dans ce que la science dit, dans les formes concrètes des énoncés qu'elle profère, les formes différentes de rationalité qui sont à l'œuvre, les représentations culturelles plus vastes qui les sous-tendent (les substructures psychologiques dirait Koyré), de façon générale les déterminations socio-mentales extérieures qui les marquent » (Pestre, 1984, p.6).

Dans tous les cas, ce genre de travaux montre que la pratique scientifique ne peut négliger les caractères propres à chaque pays. Notre travail va dans le même sens puisque nous allons montrer que des différences apparaissent entre les représentations des physiciens français et indiens.

La question de la symétrie est, quant à elle, un important sujet de travaux en philosophie des sciences, encore ouvert. La question qui nous intéresse au sein de ces travaux est celle du rapport entre les structures de l'expérience humaine et celles des lois fondamentales de la nature. Un incontournable ouvrage dans ce domaine est celui du physicien Joe Rosen (2008). Il nous propose par exemple de concevoir que « toute symétrie requiert une asymétrie » (p.8). Car « la symétrie requiert un cadre de référence, lequel est nécessairement asymétrique. L'absence d'un cadre de référence implique l'identité, et donc, l'impossibilité d'un changement, et donc l'inapplicabilité du concept de symétrie. » Rosen montre que la symétrie n'est possible qu'en fonction d'un environnement, d'un

contexte. (Rosen, 2008, 9)<sup>1</sup>.

Il est indiscutable que la physique a appuyé sa recherche des structures profondes du réel par la voie de la symétrie, mais elle l'a fait aussi à l'aide des brisures de symétrie. C'est une ambivalence qui montre que le langage est un façonnement de représentations, pour approcher le réel. La question de la symétrie reflète ainsi le façonnement mathématico-expérimental de notre appréhension du monde. Soulignons enfin un travail notable sur la chiralité en anthropologie des sciences, mené par Arpita Roy, auprès des physiciens du CERN. En logeant au sein de la communauté de ces physiciens des particules, elle a observé comment les conceptions courantes de la matière, de l'énergie et de la lumière, découlent d'hypothèses sur la façon dont fonctionne l'univers. L'asymétrie de la latéralité lui a fourni un terrain étonnamment fertile pour interroger la prétention de la science sur le gouffre existant entre la pensée et la chose, le symbole et la réalité<sup>2</sup> (Roy, 2011). Malheureusement, ce remarquable travail ne s'intéresse pas aux spécificités culturelles de ces physiciens du CERN venant pourtant d'une grande diversité de pays. C'est donc au croisement de ces différentes démarches, dans un espace assez peu peuplé que se situe notre travail.

## II. Recueil de données

La manière dont nous avons mené nos entretiens et sélectionné les physiciens est la suivante. Les entretiens auprès des physiciens indiens ont été menés en 2013 et 2014 au CERN à Genève, ainsi qu'en Inde, à Mumbai et à Pune. Quelques entretiens ont été menés en France auprès de physiciens indiens en poste dans des laboratoires français. Les entretiens avec les physiciens français ont été menés dans différents laboratoires en région Rhône-Alpes et en région parisienne. Notre sélection s'est faite sur des critères de diversité des disciplines (physique théorique, physique expérimentale notamment), sur la diversité des classes d'âge et de genre. Nous avons cherché au plus près à retrouver la même diversité dans les deux échantillons. Nous ne revendiquons pas la représentativité de notre échantillon. Nous avons cependant pu remarquer que les caractères d'âge, de genre ou de discipline scientifique influaient très peu sur la réponse apportée à ces deux questions. Par ailleurs, l'ampleur de la différence entre Indiens et Français sur ces deux questions est telle qu'une influence culturelle est difficilement écartable. Nous avons aussi remarqué des ressemblances, et elles constituent également un objet d'analyse.

Les deux questions directes posées relativement à la symétrie sont :

- « Quel est, pour vous, l'aspect le plus important pour une théorie ? Autrement dit, parmi plusieurs théories proposant une description d'un ensemble de phénomènes, quels sont les aspects qui donneraient votre faveur à l'une d'elles ? »

Plusieurs aspects étaient suggérés, mais la question restait ouverte : beauté, simplicité, symétrie, compatibilité avec les faits expérimentaux,...

---

<sup>1</sup> Rosen s'appuie sur un exemple : « Considérons par exemple un triangle équilatéral. Son apparence est immune d'une rotation par 120°C à partir de son centre dans son plan. Mais quel est ce changement que nous appelons « rotation par 120° » ? Faites ce que vous voulez au triangle, pivotez-le, étirez-le, tordez-le, le concept de rotation est inapproprié à moins que nous ayons un cadre de référence qui puissent révéler les changements. La situation totale, celle du triangle équilatéral couplée avec son environnement, possède par contre des aspects qui ne sont pas indemnes sous une rotation de 120°. Les murs de la pièce, par exemple, pourraient servir du cadre de référence, puisqu'ils sont asymétriques sous 120° de rotation. Ainsi, le triangle équilatéral est symétrique dans le contexte de son environnement. »

Texte original en anglais : "A way of expressing the relation between symmetry and asymmetry is this : "symmetry requires a reference frame, which is necessarily asymmetric. The absence of a reference frame implies identity, hence no possibility of change, and hence the inapplicability of the concept of symmetry. Consider, for example, an equilateral triangle. Its appearance is an aspect of it that is immune to 120° rotation about its center in its plane, so it possesses symmetry under 120° rotations with respect to appearance. Or so we might blithely think. But what is this change we call "120° rotation" ? Do what we will to the triangle –twist it, twirl it, twitch it, swivel it, when it rotated by 120, or rotated at all for that matter ? [...]The total situation that of the equilateral triangle together with its environment does possess aspects that are not immune to 120° rotation and that can thereby serve as a reference frame for 120° rotation. The walls of the room, for instance, could serve as reference frame, since they are asymmetric under 120° rotation. Thus, rotation by 120° is indeed a change. The equilateral triangle is symmetric in the context of its environment. It is symmetric under 120° rotation thanks to its environment's lack of immunity to 120° rotation, thanks to the asymmetry of the total situation – triangle plus environment – under the rotation.» (Rosen, 2008, 9)

<sup>2</sup> « Ainsi, les lois de la physique traitent différemment les objets de latéralité asymétrique contraire : une différence (chiralité), initialement formulée dans la théorie, est transformée en une asymétrie observée expérimentalement (violation de la parité). Pour les particules sans masse, hélicité et chiralité sont définis comme étant intrinsèque, alors que pour les particules de masse, l'hélicité est un attribut relationnel. Ce mouvement est lui-même autorisé lorsque les aspects relationnels sont traités comme «relativiste», en impliquant la présence d'un observateur ou d'un cadre de référence, ce qui du point de vue de la physique moderne pourrait être isolé comme un ensemble de règles et d'horloges » (Roy, 2011, p.74) traduction personnelle de l'anglais vers le français.

La symétrie apparût comme le premier critère pour 27% des chercheurs indiens, contre 8% pour les Français (cf. tableau 1). Il n'était pas donné de définition spécifique pour le mot « symétrie », ni pour les autres propositions (beauté, simplicité, etc.), permettant ainsi aux chercheurs de dévoiler le sens qu'ils lui attribuent.

- « Êtes-vous d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale ? »

La réponse fût positive pour 65% des chercheurs indiens, contre 35% pour les chercheurs français. Donc, une majorité d'Indiens se déclarait en accord avec cette proposition d'Heisenberg, alors qu'il s'agissait d'une minorité dans le cas des physiciens français (proportion inverse).

Rappelons qu'Heisenberg un physicien incontournable du XX<sup>ème</sup> siècle qui a reçu le prix Nobel en 1932. Sa physique possède une dimension philosophique, notamment platonicienne. Comme l'explique Malcolm Longair, « au cœur de l'approche d'Heisenberg se trouvait le rôle joué par le comportement non commutatif des variables quantiques et la quantification du moment des variables spatiales. Pour s'en accommoder, un nouveau calcul mathématique a été inventé à partir du constat que les matrices suivaient précisément les règles algébriques correctes »<sup>3</sup>(Longair, 2013, p. 278). Dans son autobiographie (1971), Heisenberg revendique une posture impopulaire de critique de la recherche en physique des particules et propose que la symétrie, et non pas les particules élémentaires, soit le point de départ d'une description du monde.

Pourcentage de réponses	Symétrie comme critère le plus important pour une théorie physique ?	D'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale ?	
		Oui	Non
Inde	27%	65%	35%
France	8%	35%	65%

*Tableau 1 : Pourcentage des réponses issues des entretiens (35 physiciens français, 35 physiciens indiens). Ce qui ressort des chiffres du tableau est que le concept de symétrie est bien plus important pour les physiciens indiens que pour les physiciens français. En effet, les physiciens indiens le jugent davantage nécessaire à la validité d'une théorie ; et davantage de physiciens indiens sont d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale.*

### III. Analyse des discours

#### III.A. Discours des physiciens indiens

##### III. A. 1. Les théories modernes en physique font appel au concept de symétrie

L'un des arguments au sujet de l'importance du concept de symétrie mis en avant par les physiciens indiens est sa présence essentielle dans les nouvelles théories de la physique moderne. Un théoricien spécialisé en gravité quantique de l'Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics (IUCAA), à Pune, explique que « la particule n'est plus un concept fondamental tel qu'il a pu l'être à l'époque d'Heisenberg. Aujourd'hui, nous avons des concepts plus basiques, appelés les cordes qui

<sup>3</sup> "At the heart of Heisenberg's approach was the fundamental role played by the non-commutative behaviour of the quantum variables and the quantization of both the momentum and spatial variables. To accommodate the features, a new mathematical calculus had been invented from the realization that matrices followed precisely the correct algebraic rules."

sont, bien-sûrs, dirigés par la symétrie. Donc, Heisenberg avait raison de dire que c'est la symétrie qui conduirait à une meilleure compréhension de la nature de la matière. »<sup>4</sup>

Une expérimentatrice en physique nucléaire du TIFR indique : « Je suis d'accord avec Heisenberg parce que je sais que le comportement des particules peut seulement être décrit par la mécanique quantique qui est basée sur la symétrie. »<sup>5</sup> Une expérimentatrice d'un tout autre domaine, la physique des hautes énergies, indique que son domaine de recherche est basé sur l'idée de symétrie. « Dès que vous trouvez une symétrie, les choses sont plus simples. Je ne sais pas exactement ce que serait le remplacement du concept de particule fondamentale par celui de symétrie, il est possible que nous apprenions à partir des symétries fondamentales telles que nous l'espérons dans les dix prochaines années, avec les nouvelles avancées de la super-symétrie. Il s'agit d'une symétrie additionnelle. D'autres symétries doivent se trouver là. »<sup>6</sup> Pour un éminent théoricien du TIFR, la symétrie est le principe qui le guide le plus dans ses recherches parce que, pour lui, « les lois les plus fondamentales de la physique, les lois de conservation, sont une propriété émergente de la symétrie ». Ce premier argument est donc fondé sur l'usage courant des symétries dans les théories modernes de la physique.

### III. A. 2. La symétrie est dans la nature

Un autre argument est basé sur la conviction que la nature est symétrique. Un physicien indien de la matière condensée est à ce point persuadé que « la symétrie est dans la nature », qu'il présume que l'ensemble des physiciens est de cet avis. « Il existe une forme d'ordre mathématique, de symétrie partout », dit-il. « Pourquoi sommes-nous tous symétriques ? ». Cet argument est repris par trois jeunes post-doctorants indiens en physique des hautes énergies au TIFR : « De toute façon, la symétrie est dans la nature. » conviennent-t-ils. L'aspect le plus important d'une théorie, explique une physicienne, est la symétrie parce que « la plupart des choses sont symétriques dans le monde ». Alors, si la symétrie est partout, comment réagissent ces chercheurs face à des asymétries manifestes, telles que l'écoulement du temps ou les phénomènes chaotiques ? Le temps est censé être symétrique en physique quantique. Mais pas en thermodynamique. « C'est troublant que le temps ne soit pas symétrique » s'interroge l'un d'eux. Certains vont alors estimer que le temps est symétrique dans certaines théories : « La flèche du temps est une propriété émergente dépendante de l'échelle et de la théorie utilisée : la thermodynamique, par exemple ou la cosmologie, n'utilisent pas la même flèche du temps. »<sup>7</sup>. Certains estiment que l'asymétrie révèle une symétrie « intérieure ». « Une belle équation est comme une musique : elle possède une symétrie intérieure. Elle assemble des différences, comme un puzzle. » estime un chercheur en physique statistique de la matière condensée. Une physicienne estime qu'au fond, « même quand il existe des brisures de symétries, originellement, il y avait une symétrie. »<sup>8</sup> Une réponse face à l'absence de symétrie de la flèche du temps ou de phénomènes chaotiques – est que ces phénomènes répondent toutefois à un ordre, à un équilibre. Même les événements chaotiques peuvent correspondre à un ordre, à un équilibre, comme le témoigne un physicien théoricien. En fait cette question de la symétrie semble liée dans l'esprit d'un grand nombre de physiciens indiens à la beauté. « J'aime l'art, j'aime la symétrie mais pas trop, sinon c'est ennuyeux. Quand vous allez à un musée, et que vous voyez une chose complètement symétrique, cela garde votre attention un moment, mais... »<sup>9</sup> fait remarquer un autre. « La beauté c'est la symétrie, ou une asymétrie : une symétrie brisée de manière harmonieuse ». Il nous a donc semblé qu'il pouvait y avoir une relation entre cette question de la symétrie, et une question posée aussi lors des entretiens, à savoir : « La nature ou la réalité vous paraît-elle ordonnée ou chaotique » ? En croisant les réponses, il

<sup>4</sup> « Well, yes, particle is no longer a fundamental concept as it was in Heisenberg's time. Today we have more basic concept called string which is of course driven by symmetry and so Heisenberg was right that it is the symmetry that has led to deeper understanding in the nature of matter. »

<sup>5</sup> V.N. 4.17 “Yes I agree with Heisenberg I know the behavior of particles can only be described through quantum mechanics which is based on symmetry.”

<sup>6</sup> K.M. 25 High energy physics is based on the idea of symmetry. Once you found a symmetry, things are more simple.

33.4. Yes, I would say because symmetry we see that it really plays a very important role in many aspect. I don't really know exactly what will be the replacement of fundamental particle by fundamental symmetry, but it is possible that we learn from fundamental symmetry like we are hopping in next 10 years new from super-symmetry. It is additional symmetry. Some other symmetry may be there.

<sup>7</sup> “Arrow of time is an emergent property depending on the scale/theory, physical law for exemple thermodynamics, or cosmological, give different arrow of time.”

<sup>8</sup> because most of things are symmetric in the world and even when there are some cracks, then originally there is symmetry.

<sup>9</sup> “I love arts so I love symmetry but not too much, otherwise it is boring. When you go to museum and you see a completely symmetrical things, it keeps your attention for a while, but. ...”

apparaît qu'en majorité, ceux qui sont d'accord avec l'importance de la symétrie sont les mêmes que ceux qui perçoivent la nature ordonnée.

### III. A. 3. La symétrie renvoie à l'ordre dans la nature

Pourcentage de réponses	Nature ordonnée	Nature chaotique	Les deux
Inde	0,57	0,13	0,30
France	0,44	0,21	0,35

Tableau 2 : Pourcentage de réponses apportées à la question : « La nature vous paraît-elle ordonnée ou chaotique » ?

Même si les réponses entre chercheurs indiens et français ne sont pas autant opposés que dans les deux questions sur la symétrie, une différence forte apparaît quand même, puisque 57% des Indiens trouvent la nature ordonnée, tandis que 44% des Français sont de cet avis. Il nous a semblé intéressant de vérifier si ceux qui répondaient sans hésiter « ordonné » étaient les mêmes que ceux qui accordaient de l'importance à la symétrie. Il s'avère qu'il existe manifestement un lien entre répondre « ordonné » et répondre positivement à l'importance de la symétrie. Ainsi, 81% des Français qui répondent que la nature est ordonnée accordent une importance à la symétrie et c'est aussi vrai pour 85% des Indiens. Donc, il existe un lien fort entre l'importance accordée à la symétrie dans les théories physiques, ainsi que dans le choix de représentation, et la perception que la nature/réalité est ordonnée.

“Pour moi, le chaos est équilibré. Dans le sens où le chaos est aussi une loi de la nature. Je crois qu'il y a de l'harmonie dans la nature »<sup>10</sup> révèle un physicien indien. Un autre explique : « La nature est certes parfois chaotique, mais le chaos est aussi une forme d'ordre. » D'autres encore : « Je crois qu'il y a un ordre caché auquel nous devons nous adapter », “Je suis fasciné par les structures que développe la nature<sup>11</sup>».

Même si la majorité des physiciens indiens conçoit la réalité comme étant ordonnée, il en reste qui laissent une place au chaos (ceux qui sont dans la case « les deux »). Dans ce cas, l'ordre apparaît comme un phénomène émergent du désordre. « La nature est chaotique, l'ordre est un phénomène émergent » explique un physicien indien. Pour un autre : « Si vous regardez les choses, vous voyez de l'ordre. Par exemple, dans une table, les électrons sont chaotiques. Du dehors, vous voyez une apparence d'ordre »<sup>12</sup>. Un physicien a fait une conférence grand public sur la symétrie en physique et y explique que la causalité est le principe sous-jacent des idéalizations scientifiques<sup>13</sup> : « Je dois vous révéler ma philosophie : j'ai le sentiment que l'esprit humain est séparé entre l'analyse probabiliste du chaos, et l'ordre causal du monde ».

Ce que nous pouvons conclure des discours des physiciens indiens au sujet de l'idée de symétrie, c'est que le monde leur paraît majoritairement symétrique, même quand il prend des apparences de dissymétrie, comme avec la flèche du temps. Et l'idée d'une nature ordonnée n'est pas indépendante de cette importance accordée à la symétrie.

### III. A. 4. Jongler avec la symétrie et la particule, selon l'échelle d'observation

<sup>10</sup> « For me, chaos is balanced. In the sense that nature is dictated by law of nature, chaos is also law of nature. I don't believe in laws, I think there is harmony in nature”.

<sup>11</sup> “I am amazed by the structures that are developed by nature. It looks like there is lot of order, even the chaotic behavior is probably intended for a certain purpose.”

<sup>12</sup> “If you look at things you see there is order. for exemple in a table electrons are chaotic, from outside you give this property of a table. It is an emergent phenomenon.”

<sup>13</sup>Scientific Idealizations: Psychology and Metaphysics ASET Colloquium, TIFR, February 8, 2008

Concernant la proposition d'Heisenberg, certains physiciens indiens optent pour la symétrie au détriment de la particule parce que, d'après eux, la particule fondamentale n'existe pas. L'histoire de la physique leur a montré que lorsque l'on trouvait une particule que l'on croyait fondamentale, on se rendait compte qu'elle était elle-même composite. Les candidats les plus récents au titre de "particules fondamentales" sont les "quarks" constituants des hadrons, qui n'ont pourtant pas été observés en tant que tels. Un physicien théoricien du TIFR raconte : « Geoffroy Chew, avec sa théorie du Bootstrap<sup>14</sup> dans les années 70, a repris l'idée d'Heisenberg d'abandonner l'idée de particule élémentaire. Il ouvrait les portes de ce qui était connu en philosophie orientale, à savoir qu'il n'y a rien de fondamental. A son époque, les chercheurs commençaient à faire des expériences avec des particules en percutant par exemple des protons ensemble, et observaient des phénomènes de dispersion. De quoi s'agissait-il ? De protons, de neutrons ? Ils parlaient de hadrons, parce qu'ils ne comprenaient pas ce à quoi ils avaient à faire. Les hadrons donnaient naissance à quelque chose d'autre. L'idée de particule élémentaire s'envola. Je pense que cela a des implications philosophiques profondes. Ce que l'histoire du modèle standard a montré c'est que nous ne sommes probablement pas prêts à faire de la physique à ce niveau de complexité parce que nous pensons encore de manière très étroite »<sup>15</sup>.

K.R. "Yes, particles are an "emergent" concept. Just as a solid or a liquid is a concept that emerges when you have many particles. Similarly particles are a concept that come from more fundamental constituents, when you look at things at very small scales." xx

Un certain nombre de physiciens optent pour l'utilisation des deux concepts, la symétrie et la particule, en fonction du niveau auquel on se situe. Il s'agit d'une forme de relativisme. Un cosmologiste estime que « Beaucoup de choses fonctionnent bien avec le concept de particule fondamentale, mais lorsque vous allez à un niveau très profond, alors l'idée de symétrie devient importante, nous essayons de considérer des dispositifs pour comprendre les aspects multidimensionnels d'un problème. Donc, je ne vois pas pourquoi il faudrait choisir une chose au détriment d'une autre. A un certain niveau, quand ça devient complexe et multidimensionnel, alors les mathématiciens arrivent, et ils apportent cette notion de super-symétrie, et je crois que cela à aide à résoudre les équations. En vous-même, qu'essayez vous de comprendre ? Si vous êtes heureux en essayant d'expliquer quelque chose. Par exemple, vous utilisez une pile à électrolyse. Et si vous voulez utiliser le soleil, vous êtes face à un problème différent, n'est-ce pas ? Alors, vous devez inventer de nouveaux outils, de nouvelles notions »<sup>16</sup>.

L'idée est de prendre ce qui fonctionne, en fonction du contexte et des besoins. Ainsi, un astrophysicien du TIFR explique simplement qu'il a pu constater qu'utiliser la symétrie fonctionnait dans ses recherches. Et il la considérera comme un élément important tant que ça continuera à fonctionner. Les comportements et les lois de la matière sont très différents à basse ou à haute énergie. « Nous pouvons utiliser les deux concepts, explique un autre théoricien en physique de la superconductivité : symétrie et particule. Je suppose qu'Heisenberg parlait du modèle standard. Donc, oui, la symétrie semble importante. Pour nous aussi, la symétrie est un aspect important. Nous

---

<sup>14</sup> Selon la théorie bootstrap, en effet, la nature ne peut pas être réduite à des entités fondamentales, mais doit être envisagée de manière complémentaire. C'est-à-dire en termes de relations communes.

<sup>15</sup> "Geoffroy Chew (bootstrap theory) took former Heisenberg's idea that we should give up the idea of elementary particle. He was bringing heavy doors of what is known as eastern philosophy to say basically there is nothing fundamental. What was happening at that time people beginning to do experiments with particles they hit protons together scattering experiments.

G Chew was saying more fundamentally is it a proton, is it a byon is it a neutron ? Because they did not understand They were talking of hadrons. Each hadron was giving rise to something else. The idea of elementary particle went away. I think It has profound philosophical applications. What the history standard model has shown we are probably not ready to do physics for that level of complexity because we are still thinking very narrow."

<sup>16</sup> "Lot of things work quite well when you mean fundamental particle, but when you go down to very deep level, then the ideas of symmetry and all, we try to consider mathematical devices to understand multidimensional aspect of a problem, then you need that, ok. So I don't know why you have to choose one thing or the other. Because at some level, everything you do everything you need you think you really understand what particle is. But when you go down, to understand super-symmetry and all that you know at the quark level and other things, when it becomes complex and multidimensional, then mathematician come in, and they bring this notion of super-symmetry and I think it helps to solve equations.

In your self what are you trying to understand ? If you are happy with explaining something. For exemple, you use a battery, the power for electrolyze and atoms, you design a new battery with students, and then you go to sun and then you have a different problem right ? So then you have to invent new tools, new notions. So I think you have bring new things, to break, to understand and explain."

l'utilisons sans arrêt, pour construire des modèles de réseau cristallin. Pas toujours, il arrive que ce ne soit pas symétrique. »<sup>17</sup> Une éminente physicienne de Bangalore en physique des particules, estime qu'elle pourrait être d'accord avec le fait de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale mais pas pour toutes les particules, seulement pour les particules reliées à des forces ». Il s'agit donc d'utiliser les concepts de manière contextuelle. Ce qu'exprime ce physicien indien : « On n'est pas obligé de se passer du modèle des particules pour avoir de la symétrie. Ils ne sont pas reliés à la même chose. C'est une question de point de vue tout cela »<sup>18</sup>.

L'un des chercheurs interrogés, théoricien de la supergravité, celui qui a fait un exposé grand public sur le concept de symétrie en physique estime que la symétrie permet de déduire un tout d'une partie, elle rend possible l'atomisme, le réductionnisme. C'est donc un outil essentiel des sciences. Elle permet de rendre les lois de la physique possibles : « un atome d'hydrogène à Mumbaï est le même qu'à Paris ».

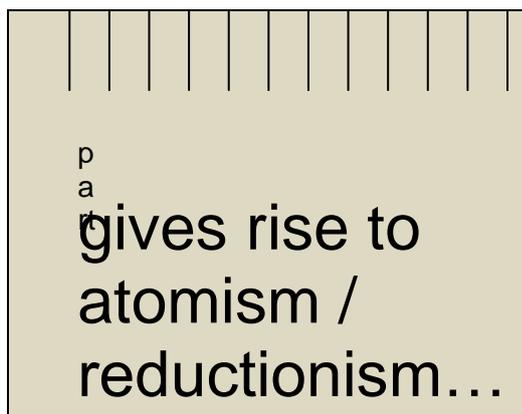


Figure 1. Extrait visuel de la conférence de A.D, 2004. Sans symétrie, on ne peut déduire le tout à partir d'une partie. Exemple avec les piliers du Parthénon.

Et pourtant, dit-il lors de l'entretien, c'est dépassé, qui sait, la théorie fondamentale n'est peut-être pas particulièrement symétrique ? La symétrie existe dans le monde quotidien à notre niveau. Mais au-delà ? »<sup>19</sup>.

Le choix du concept est donc adapté au contexte et au niveau d'échelle que l'on étudie. Il n'y a donc pas de concept absolu de prédilection. Un physicien des particules estime ainsi que « ce n'est pas parce

<sup>17</sup>We can use both concepts : symmetry and particle. I guess Heisenberg was talking about the standard model. So yes symmetry seems important. And for us, two, symmetry is an important aspect. We use it always, to construct lattice models, not always, sometimes it is not symmetric.

<sup>18</sup>They are not in contradiction with each other, you don't have to choose one. It is a view point.

<sup>19</sup>G.M. 38.18 These are old doctrines. Who knows maybe the fundamental theory is not particularly symmetric, I think the fundamental theories are not particularly symmetric. It maybe quite ugly from the point of view of symmetry. But symmetry eventually do exist in the current world at our scale. Certainly gauge symmetry is a very important thing. It is like a carry principle for standard modal that has been discovered by insisting on gauge symmetry. Certainly it is like that. But I wouldn't engage myself on symmetry.

que c'est un concept mental que ce n'est pas une réalité. Il ne s'agit pas de basculer dans l'extrême inverse non plus. Il y a équilibre entre les deux versants, il existe une dualité. On peut opter pour vision duelle, particulière et mathématique, symétrique »<sup>20</sup>.

### III.A. 5. Manque de confiance : je dis « oui » car je ne sais pas

Il ne faut pas écarter l'hypothèse qu'une partie des physiciens indiens acquiescent à la proposition d'Heisenberg, pour des raisons de respect dû à l'autorité, ou du fait d'une sous-estime personnelle. « Je ne suis personne pour me prononcer »<sup>21</sup> furent-ils plusieurs à répliquer, tout en acceptant finalement de se prononcer. D'après un philosophe des sciences indien interrogé, anciennement physicien, « peut-être que les physiciens n'ont pas compris la question. Ils ont juste dit « oui » parce qu'Heisenberg est quelqu'un de célèbre et doit donc avoir raison. Ils ont un problème de confiance en eux. Les Français n'ont pas ce problème »<sup>22</sup>. Il est incontestable qu'il y a une différence sur l'attitude vis-à-vis d'Heisenberg et de la liberté prise pour le critiquer. Des physiciens Français par exemple n'hésitent pas à dire : « Il s'est trompé sur pas mal de choses, mais les gens n'ont pas osé s'opposer à lui ». « Heisenberg n'a pas dit que des trucs bien ! ». Les discours des physiciens indiens ne sont pas aussi critiques. L'un d'eux dit à propos d'Heisenberg : « C'est un très grand homme, c'est une très grande déclaration. Je ne suis pas versé dans tout cela. » Cependant il ajoute : « mais j'ai été un observateur de la physique des particules. [...] C'est probablement vrai »<sup>23</sup>. Il fait donc appel à son expérience pour conclure sur la valeur de cette proposition d'Heisenberg, et pas seulement sur le statut de ce personnage. Il est possible que le respect traditionnel pour l'autorité ou le manque d'estime induisent une tendance dans les réponses, cependant, nous avons pu voir plus haut que l'accord exprimé avec Heisenberg était très souvent appuyé par des arguments élaborés. Donc, cette hypothèse devrait assez peu influencer l'adhésion majoritaire envers la symétrie. Notre impression est que l'accord avec la proposition d'Heisenberg repose à la fois sur le respect d'une figure qui fait autorité dans le domaine, ainsi que sur l'accord avec sa proposition de prioriser la symétrie. La première raison est cependant moins présente que la seconde dans les réponses des physiciens.

### III.A.6. Ceux qui ne sont pas d'accord

La minorité des physiciens indiens qui ne sont pas d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule par celui de symétrie se justifie par des raisons de deux ordres :

- la particule leur plaît. Ainsi un physicien théoricien de Mumbai aime voir le monde de manière particulière. « J'aime la manière dont je m'intéresse au monde autour de moi. Et ce que je vois ce sont des particules. J'aime l'idée de particule. Je ne sais pas ce que cela veut dire. Nous savons que ce sont des fluctuations quantiques des champs »<sup>24</sup>;
- la symétrie est trop restrictive, ils préféreraient un autre concept, plus fondamental. « La symétrie est trop restrictive, j'opterais plutôt pour le dynamisme, l'émergence ».

En conclusion de cette partie sur l'analyse du discours des Indiens, et avant de passer aux Français, nous pouvons caractériser ces discours par :

- Le respect des figures qui font autorité dans la science

<sup>20</sup>« It is the viewpoint of a mathematical physicist. I don't say there is no truth in it. Or not substance in it. There is a substance in it. But physical reality has some importance. But too much of mathematization I am a little skeptical of that, because it takes away the reality which you can see within your range. It strikes me on my head. Particle reality was a mental reality. There is lot of conclusion there. They say that ho It is a mental concept therefore it is not reality, but it is not like that. Extreme position is opposite. There is an interplay in the two side, there is a duality. »

<sup>21</sup>« I am no one to agree or disagree with that ? »

<sup>22</sup>« Maybe Indian physicist did not understand the question. They just said yes because Heisenberg is famous and he must be right. There is a problem of self-confidence. French don't have this problem. »

<sup>23</sup>« That is very big man. That is a very big statement. I am not so clouded in all these things. But I have been sort of observer of particle physics because we don't do that with other thing that basic knowledge. It is probably true, I believe, it's probably true. »

<sup>24</sup>« I like the way I am interested in what is happening around me. What I see is particle. I like the idea of particle. I don't know what it means. We know that particles are quantum fluctuations of fields. »

- L'importance de l'ordre et de la symétrie dans leur représentation de ce qu'est la réalité ou la nature
- Le choix d'utiliser des concepts qui fonctionnent, en fonction des domaines d'utilisation

### III.B. Analyse du discours des physiciens Français

#### III.B.1. La nature n'est pas ordonnée, ni symétrique

Un seul physicien Français a dit qu'il trouvait la nature symétrique. Quand ces physiciens admettent l'importance de la symétrie en physique, c'est plutôt la brisure de symétrie qui les intéresse : « Il ne s'agit pas d'une symétrie absolue, on ne peut pas parler de symétrie sans brisure de symétrie. Pour unifier les interactions faibles et fortes, il a fallu faire appel à une brisure de symétrie qui a donné le Higgs ». Il ne s'agit pas de l'absence de toute symétrie, qui serait vide de sens, mais une variation par rapport à une symétrie attendue – ce qui se nomme « dissymétrie ». C'est donc un caractère qui devient fertile pour la recherche. « Pas sûr qu'il existe une particule fondamentale, ni même une symétrie fondamentale. Toutes les symétries qu'on connaît ont fini par être reconnues comme approchées, des symétries approchées : la parité, le renversement du temps, la conjugaison particule/anti-particule ... On s'aperçoit qu'il y a toujours une dissymétrie quelque part. Il y a peut être « CPT » qui serait conservée (CPT implique de manière simultanée la conservation de la charge, de la parité et du temps). La symétrie est faite pour être brisée. Sinon ça devient ennuyeux. Imaginez les bâtiments, les visages symétriques, ça ne servirait à rien de construire l'autre partie. Et l'art non plus n'aime pas la symétrie ». Comme certains chercheurs interrogés l'ont aussi souligné, en physique, on ne peut pas parler de symétrie sans parler de brisure de symétrie.

On a vu que les Indiens sont plus nombreux que les Français à trouver la nature ordonnée. Une grande partie rejette donc l'idée d'ordre dans la nature, tel que ce doctorant en physique statistique : « Je n'aime pas la notion d'ordre. Elle a un sens en physique, que l'on appelle "paramètre d'ordre". Ses autres significations me paraissent vaseuses. La notion de chaos aussi. Il s'agit de notions morales. Nous essayons de calquer quelque chose sur la réalité qui est telle qu'elle est. Si elle était ordonnée, on pourrait tout prévoir, ce qui n'est pas possible. Je me bats farouchement contre l'interprétation erronée du second principe de la thermodynamique qui estime que l'entropie est une mesure du chaos, du désordre. L'entropie sert à mesurer le degré de connaissance. Un volume de l'espace des phases plus grand signifie une entropie plus grande. Ce n'est pas une question d'ordre. » Une grande partie des physiciens français trouve la nature à la fois ordonnée et chaotique (35%) : « Ce n'est pas parce que les lois sont ordonnées, que la nature n'est pas chaotique ». La compatibilité avec les faits est indiscutablement le critère le plus important, avec la simplicité, pour une théorie et la symétrie n'est quasiment jamais citée par les Français comme critère important, alors que nous avons vu qu'elle l'était par les Indiens. « La symétrie c'est un aspect important mais ce n'est pas le principal » explique un physicien français en optique. Pour un physicien des particules : « Il y a bien quelques propriétés physiques qui sont symétriques mais je ne sais pas s'il existe ou s'il faut une symétrie fondamentale ». « La symétrie n'est pas un critère de choix, explique un physicien théoricien et philosophe français, c'est un méta critère. L'intérêt de la symétrie c'est que c'est un témoin indirect d'objectivité. L'objectivité c'est quoi ? C'est la production d'un formalisme qui vaut pour tous les points de vue, temporels, spatiaux, où que vous soyez, quand vous soyez. Ça signifie que si vous changez votre orientation spatiale ou au sens large, par rapport à l'objet que vous étudiez, vous ne variez pas votre dispositif. Quand vous tournez un cristal cubique, vous avez toujours la même face carrée devant vous. On ne varie pas dans les prédictions, donc il s'agit d'un témoin de l'objectivité. Si on recherche l'objectivité, on recherche la symétrie. La symétrie est un témoin de la réussite de la quête d'objectivité. Quant à la brisure de symétrie, c'est un témoin du passage d'un modèle objectif à un point de vue particulier, de quelqu'un dans un laboratoire ou bien le point de vue particulier de l'humanité en général. [...] La symétrie ne vaut que par sa brisure potentielle. La généralité ne vaut que parce qu'elle se raccorde à la particularité. Une théorie physique qui aurait une magnifique équation mais qui ne vous dirait pas comment cette équation se traduit dans cette expérience

particulière avec ce dispositif particulier, n'aurait aucun sens. Donc il y a toujours une sorte de dialectique entre généralité et aspect particulier. » Ce qui est troublant dans cette réflexion, c'est que l'objectivité renvoie par définition à l'observateur. Ce qui veut dire, pour ce physicien et philosophe, qu'il n'y aurait pas véritablement de symétrie absolue sans rapport à un observateur. On comprend l'importance accordée dans ce cas à la brisure de symétrie : ce n'est qu'elle qui peut rendre compte des phénomènes observés. En effet, la symétrie s'accorde au modèle idéal, qui lorsqu'il est devenu un phénomène observable introduit une brisure de symétrie.

Ce que l'on peut globalement observer dans ces arguments, c'est l'attitude des physiciens français plus radicalement critique envers le concept de symétrie et son caractère absolu.

### **III.B.2. Utiliser des concepts manipulables, qui correspondent à notre vision quotidienne du monde**

Une des principales critiques portée par les physiciens français à l'idée de symétrie, est son aspect trop abstrait, trop mathématique. « Comment résoudre un problème si l'on ne parle pas de particules, si on ne parle que de symétrie, je ne comprends pas la notion de symétrie, c'est assez récent. » Même ceux qui sont méfiants à l'égard du concept de particule, ne le sont pas moins face au concept desymétrie : « La symétrie, elle, est trop abstraite, compliquée à manipuler ». « La symétrie est quelque chose de très complexe en physique. Peu de gens sont capables d'en parler sans dire de conneries ». « La symétrie ? », répond un étudiant de master, un des sujets les plus subtils, que j'ai le moins compris, notamment la symétrie CPT ». Un physicien avoue qu'il a besoin du concept de particule fondamentale. « Il y a des gens qui réfléchissent mieux avec des concepts algébriques, d'autres qui ont besoin d'images. Moi j'ai besoin d'images, la symétrie est un niveau d'abstraction trop important ». « Deux physiciens ne vont pas avoir la même compréhension d'une notion, elle ne va pas leur faire sens de la même manière. Ça dépend des représentations, de la culture personnelle. Pour moi, l'idée de symétrie n'est pas essentielle ».

On retrouve aussi l'un des arguments principaux des Indiens, le concept de particule est plaisant, plus facile à représenter, il est familier. « La particule ne s'évanouit pas sous la symétrie. Ne parler que de symétrie, c'est aller un peu vite en besogne. Les symétries sont fondamentales, mais il faut spécifier beaucoup de choses. Les groupes correspondent à des concepts physiques. Il faut garder un concept physique ».

Enfin, on retrouve l'autre argument des physiciens indiens, à savoir que le concept de symétrie est limité, tout comme celui de particule, et qu'il faut opter pour un autre concept. « Heisenberg a dit cela à une époque de débats intenses. Ce n'est plus le cas ». « Maintenant, certains pensent davantage « en terme de structures et de relations entre les entités. »

Il est clair que la difficulté vient de l'inaccessibilité du monde subatomique : « dans la mesure où l'on ne pourra jamais avoir une représentation du monde sub-atomique, le sens de la vue n'est pas mobilisé de la même manière. On peut juste avoir des représentations. La symétrie est une approximation du réel. C'est un outil mathématique qui permet de dégager certaines propriétés, mais elle n'est pas respectée partout. » Les physiciens comprennent le dilemme d'Heisenberg, mais ils ne valident pas son extension à l'ensemble du réel. « Il a représenté tous les objets par des matrices. Il n'arrivait plus à représenter la position, la vitesse. Je comprends ce qu'il veut dire. C'est vrai dans le cadre de la mécanique quantique, mais pas en physique classique. » Il s'agit donc de trouver un concept qui soit valable à tous les niveaux. Ou bien, selon un argument proposé aussi par des physiciens indiens, de garder ce qui marche : « Raisonner en termes de particules nous a conduit à des trucs qui globalement marchent. Pourquoi jeter cette notion à la poubelle ? Même si il existe des choses concernées par les symétries, il faut garder les deux concepts pour avoir plus de chance de faire des découvertes ». « Je pense que derrière chaque particule fondamentale, il existe une symétrie fondamentale, et réciproquement, c'est juste une façon différente de décrire les choses. ». Certains imaginent que le domaine d'étude détermine la préférence, mais ils ne sont pas du même avis apparemment : « Il est possible qu'un physicien du CERN préfère parler en termes de particules, alors qu'un théoricien parlera en termes de symétrie ». « Un physicien du CERN préférera sans doute parler en termes de

symétries. Ça a permis de découvrir de nombreux groupes de particules fondamentales ».

Donc, une ressemblance avec les arguments des Indiens est la souplesse dans le choix des concepts, la mise en contexte. Mais à la différence des Indiens, pour les Français, la symétrie est un concept trop abstrait, trop mathématique.

### III.B.3. Ceux qui sont d'accord

Parmi les réponses en accord avec la proposition d'Heisenberg, on retrouve certains des arguments avancés par les physiciens indiens. Ainsi, le constat que la symétrie tient une place importante dans les théories modernes : « On s'est rendu compte que l'on pouvait décrire la physique uniquement par des symétries, par exemple le théorème de Noether<sup>25</sup>. Loin d'être invalidée par les bouleversements conceptuels des quanta et de la relativité, cette articulation qui a été généralisée, réinterprétée et étendue, joue un rôle déterminant dans la physique contemporaine.. On a l'impression que la symétrie est plus fondamentale que la particule, donc oui, je la mettrai avant, mais le problème, c'est que c'est quelque chose d'abstrait ». Pour un autre : « Toute interaction est due à une question de symétrie ». « La clé de voûte du monde microscopique c'est la symétrie. On parle de champs, d'objets mathématiques, on associe des densités (Lagrangien) qui doivent obéir à des symétries. » Un des arguments proposés par les physiciens Français et qui n'apparaît pas chez les Indiens, est la dimension historique, qui s'appuie sur une perspective plus large en histoire des sciences. « Ce qui me paraît important quand on regarde l'histoire de la physique, ce qui reste ce n'est pas tant les entités que les structures, les symétries. La notion de structure est fondamentale, plus que les particules ». Pourtant, on ne peut pas vraiment dire que l'ensemble des physiciens français partagent l'idée que la symétrie soit importante dans la physique moderne. Certains la contestent, alors même qu'ils sont issus des mêmes disciplines que ceux qui soutiennent cette idée. Il semble donc étonnant que, au sein d'une même discipline, certains perçoivent l'importance de la symétrie (les Indiens surtout) et d'autres pas (les Français surtout).

## IV. L'origine culturelle des physiciens influence-t-elle leur rapport à la symétrie ?

Nous venons de voir qu'il existe des différences dans les réponses, mais aussi des ressemblances. La principale ressemblance entre les points de vue des physiciens indiens et français est :

- Il est plus confortable d'utiliser un concept qui soit facile à représenter, à manipuler, ce qui n'est pas toujours le cas de la symétrie.

La principale différence est :

- La nature est bien plus symétrique pour les Indiens que pour les Français, donc la symétrie doit tenir une place fondamentale dans nos théories et représentations du monde physique.

Le fait d'être Indien ou Français a indubitablement une influence sur les réponses. Mais peut-être y a-t-il d'autres paramètres qui influencent les réponses, cachés sous la dimension culturelle ? Nous avons donc cherché s'il existait un lien statistique entre par exemple le fait d'être théoricien et de voir le monde de manière symétrique ou ordonné. Il pourrait en effet y avoir un lien vu que les théoriciens sont très mathématiciens. Mais nous n'avons pas trouvé de lien. Les théoriciens ne répondent pas spécialement plus positivement que les expérimentateurs à nos questions sur la symétrie. Il pourrait

<sup>25</sup> Le théorème de Noether concerne l'équivalence entre les lois de conservation et l'invariance sous certaines transformations (appelées *symétries*) : « à toute transformation infinitésimale qui laisse invariante l'intégrale d'action correspond une grandeur qui se conserve. »

alors exister une influence selon les spécialités, par exemple un cosmologiste pourrait être moins sensible à la symétrie qu'un physicien des particules. Mais là encore ce n'est pas le cas. Ni l'âge, ni le sexe ne semblent non plus jouer.

#### IV. A. La symétrie dans les traditions savantes indiennes

Donc, bien qu'entre les physiciens indiens, il existe de grandes différences de parcours intellectuel, de motivation philosophique, et d'axe ou pratique de recherche, ils se réunissent majoritairement sous une représentation commune, qui semble lié à ce qu'ils ont en commun : un parcours culturel et éducatif similaire. Tous ceux qui ont été interrogés ont vécu leur enfance et fait leurs études jusqu'au master inclus, en Inde. Or, si l'on s'intéresse à la culture indienne, qui est certes plurielle, on retrouve une base commune. Bien que les relations soient universelles dans la pensée humaine, leurs logiques n'ont pas été uniformément perçues et développées. « Les anciens penseurs indiens ont régulièrement théorisé sur les relations de grammaire, de musique, du droit et des affaires, en décrivant ces phénomènes avec la permutations des symboles verbaux ou algébrique qui ont longtemps été les termes analytiques de choix. Une logique de relations n'est pas si facile à énoncer à travers les formes propositionnelles de l'argumentation géométrique qui ont été favorisés pendant des siècles en Occident. » écrit Marriott (Marriott 1990)

François Chenet estime que, contrairement à la philosophie qui naît en Grèce et qui privilégie l'intelligibilité de la cause, selon l'expérience, la philosophie indienne privilégie les analogies entre microcosme et macrocosme (Chenet 2013). On pourra, à juste titre, estimer que les logiciens grecs ont aussi développé un recours à l'analogie. Mais ce ne fût pas comme un mode prioritaire de connaissance. Docteur en philosophie indienne, Colette Poggi soutient, comme François Chenet, « l'importance de l'analogie dans les philosophies de la conscience en Inde ancienne. Le tout (*sarvam*), l'univers et chacune de ses parties, est conçu comme un tissage (*tantra*) de flux (*nāḍī*) de conscience (*cit*) et de souffle (*prāṇa*). » (Poggi 2012)

Pourquoi insister sur la place de l'analogie dans la culture indienne dans le cadre d'une réflexion sur la symétrie ? Car, l'analogie est une forme de symétrie très importante. En effet, l'analogie est l'immunité de la validité d'une relation à des changements. C'est une classe de situations qui semblent analogues l'une à l'autre c'est à dire obéissant à une loi commune. Donc, l'accordance importée à l'analogie dans les traditions savantes indiennes n'est peut-être pas indépendante de la tendance des physiciens indiens à accorder tant d'importance à la symétrie. Dans son livre sur la symétrie en science, Rosen explique : « Si vous dites « un animal à une queue relativement longue », cette relation implique deux éléments : un animal et une queue relativement longue. Il existe plus d'un animal pour lequel cet élément est valide. La relation définit une analogie entre les animaux. Cette relation est symétrique car : 1. Il existe la possibilité d'un changement. On peut changer d'animal pour qui cette relation serait formulée. 2. La validité de la relation est immune de certains changements. Par exemple si vous changez la couleur des yeux de l'animal, sa queue restera quand même longue. » (Rosen, 2008, 11). Pour confirmer l'importance de l'analogie dans la pensée traditionnelle indienne, nous pouvons nous arrêter un instant sur le travail de l'anthropologue Philippe Descola. D'après lui, les schèmes intégrateurs des pratiques humaines peuvent être ramenés à deux modalités fondamentales de structuration de l'expérience individuelle et collective : identification et relation (Descola, 2005, 163). Descola explique qu'il existe des schèmes universels, d'autres qui procèdent d'une compétence culturelle acquise ou des aléas de l'histoire individuelle (2005, 151). Les schèmes individuels varient d'individu à individu, ils sont dus à l'accomplissement routinier d'une action (par exemple, un itinéraire régulièrement emprunté), à l'ordonnancement de tâches quotidiennes, etc. Mais ce sont les schèmes collectifs qui intéressent les anthropologues car ils constituent l'un des principaux moyens de construire des significations culturelles partagées. Parmi les schèmes réputés universels, on trouve les attentes concernant l'action humaine (intentionnalité, affects), ceux concernant les objets physiques (gravité, continuité des trajectoires, permanence des objets, etc), les schèmes biologiques (reproductibilité, croissance, etc).

Une forme de rapport aux autres êtres – une ontologie- qui s'applique à la société moderne occidentale après l'émergence des sciences modernes est appelée par Descola le « naturalisme ».

- Cette ontologie pose une opposition radicale d'intériorité entre les humains et la nature, malgré une similarité d'apparence.
  - Elle postule que rien n'advient sans une cause.
  - Elle envahit le sens commun et la pensée scientifique si bien qu'elle est devenu pour ses membres un présupposé.
- Les physiciens français interrogés relèvent de cette ontologie.

Très différent du naturalisme, l'ontologie analogique tient de l'idée que le monde est un ensemble infini de singularités et, puisqu'on a du mal à penser ce monde, il faut trouver des correspondances par analogie. «L'analogisme est un rêve herméneutique de complétude qui procède d'un constat d'insatisfaction : prenant acte de la segmentation générale des composantes du monde sur une échelle de petits écarts, il nourrit l'espoir de tisser ces éléments faiblement hétérogènes en une trame d'affinités et d'attraction signifiantes ayant toutes les apparences de la continuité. Mais c'est bien la différence infiniment démultipliée qui est l'état ordinaire du monde, et la ressemblance le moyen espéré de le rendre intelligible et supportable» (Descola, 2005, 283). D'après l'analyse de Descola, qui s'appuie sur des échanges avec des spécialistes de l'Inde, l'Inde brahmanique était et est encore « analogique ». Notre étude des traditions savantes anciennes indiennes donne des arguments en ce sens. Il y a dans les traditions savantes indiennes, de nombreux recours à l'analogisme, et à des formes très sophistiquées de classification du réel. Les écoles de philosophie en particulier celle du *Nyaya* (Vème siècle et suivants) précisent les moyens de connaissance qui sont au nombre de quatre : perception, inférence, analogie et témoignage d'autorité (littérature review !). L'analogie est donc un moyen de connaissance au même titre que l'inférence (Belzille, 2011). Chaque forme de sciences ou savoirs a recours à l'analogie. *L'Arthava Veda* qui contient l'un des plus vieux systèmes détaillés de l'*Ayurveda* (Science de la longévité) propose que les conceptions physiologiques s'établissent en fonction de la théorie d'une correspondance entre le corps, microcosme et la nature, macrocosme. D'après la philosophie ayurvédique, l'homme est fait de la même façon que l'univers autour de lui (5 éléments : *akasha*, eau, feu, terre, vent). Autrement dit le microcosme (le corps humain) est ou une réplique, ou en correspondance avec le macrocosme (nature, univers). C'est pourquoi notre santé à tous les niveaux est reliée inextricablement au rythme de la nature et de l'univers, des saisons, des planètes. L'*Ayurveda* est encore très présente en Inde, il ne s'agit pas d'un mode de pensée oublié. A. Nandy suppose que cet analogisme était facilité par la culture sanskrite avec son étude indifférente des frontières entre art, humanité et science, et entre les sciences dures de la nature et les sciences molles de la société. (Nandy, 1995, 102). Est-ce que l'analogisme entre microcosme et macrocosme imprègne encore la science indienne ? En tous cas, il semble qu'il ait eu une influence sur certains scientifiques indiens du XX<sup>ème</sup> siècle. Abha Sur (Sur 2011) nous évoque le cas de Raman, dont les recherches dépassaient les limites des disciplines : il trouvait des analogies entre les vibrations de musique et celles de l'optique. La préoccupation des Indiens pour la *jāti* est encore indéniable : il s'agit du classement par analogie, la logique des classes, de genres et d'espèces. Diverses taxonomies de saison, de paysage, de temps, de qualités (*guṇas*), de goûts, de personnalités, d'émotions, d'essences (*rasa*), sont à la base de la médecine, de la poésie, de la cuisine, etc. Chaque *jāti* ou classe définit un cadre, une structure de pertinence, une règle de combinaisons autorisées, un cadre de référence, une méta-communication de ce qui est et qui peut être fait (Ramanujan 1989).

Nous avons remarqué que la question posée sur la symétrie, dans nos entretiens, pouvait être mise en relation avec les questions posées sur l'ordre dans la nature/réalité. Or, dans les ontologies analogiques, explique encore Philippe Descola, l'intériorité et la physicalité sont fragmentées en des composantes multiples dont l'assemblage instable engendre un flux permanent de singularités. Les humains offrent un modèle réduit, donc maîtrisable des rapports et processus régissant la mécanique du monde. D'où une préoccupation constante pour la conservation d'un équilibre, sans cesse menacé entre les pièces constitutives. Dans la pensée védique, les actions humaines se réfléchissant dans l'ordre de la nature, *ṛta* en sanskrit (prononcer « *rita* »). Il s'agit un agencement cosmique qui se présente sous la forme d'une roue et d'un tissage (Siburn 1989). Sa racine verbale est *ṛ* qui veut dire « arranger », et qui donna en français rite, rouage, etc. La notion de *ṛtasmā* ou la pertinence s'applique à la poésie, la musique, le rituel sacrificiel, la médecine, etc. Comme le souligne Renou (Filliozat, Renou, 1985) *ṛta*, signifie aussi « articulation du temps ». Dans la pensée indienne, plus

généralement, écrit Liliane Silburn, « tout acte vise à ordonner les instants et les éléments hétérogènes qui composent le réel. » (Silburn, 1989).

Nous pouvons donc conclure de cette partie que la culture indienne possède indéniablement des traits qui confèrent une place singulière à la notion de symétrie. Est-ce que cette part culturelle est présente au point d'influencer encore aujourd'hui le mode de pensée de physiciens indiens, imprégné d'un modèle scientifique universel ? Les interviews que nous avons menées semblent en tous cas indiquer une spécificité culturelle. Mais cette spécificité a-t-elle une quelconque influence sur la manière dont ces physiciens font de la recherche ? Ou s'agit-il purement d'un mode de pensée en arrière fond de leur représentation scientifique du monde ?

Il serait légitime, avant d'aborder cette question, de décrire plus profondément l'ontologie des physiciens français qui semblent accorder moins de place à la symétrie que leur collègues indiens. Outre le fait qu'elle s'est développée au sein d'une ontologie naturaliste, la pensée française (en physique) ne recèle-t-elle pas des spécificités propres ?

#### **IV. B. Du côté de la pensée savante française**

Il est plus difficile, en tant que française, de prendre du recul sur sa propre culture. Ici, nous appellerons à la rescousse les auteurs qui ont tenté de décrire les spécificités des physiciens français. Le premier semble avoir été le physicien Duhem. Dans *La théorie physique*, (Duhem 1906), celui-ci différencie l'esprit français de l'esprit anglais. L'idée française de la physique lui apparaît déductive. Une théorie physique est pour les Français essentiellement un « système logique » et des relations mathématiques au contraire des physiciens anglais qui construisent, d'après lui, leur théorie à partir de modèles mécaniques. L'ordre et la clarté sont essentiels à la démarche qui relie les hypothèses initiales aux conséquences. Il cite Laplace, Fourier, Cauchy et Ampère qu'il place dans la descendance de Descartes. Duhem accentue les spécificités nationales et va jusqu'à attribuer à Newton un esprit français ! Toujours est-il écrit Lecourt (Lecourt 2002), qu'il a bien existé une idée française de la science, d'ascendance cartésienne, qui se remarque non seulement dans l'exposition des théories mais dans le mode de production même des connaissances nouvelles. L'historienne Nye identifie aussi des facteurs qui entretiennent le style français en faveur des mathématiques : jusqu'en 1958, en France il n'existait pas de concours séparés d'agrégation en physique et mathématique (Nye 1986). En Grande-Bretagne, compare l'historien Gayon (Gayon 1996), « ce biais institutionnel précoce en faveur des mathématiques pures n'a pas de correspondant. Les physiciens anglais ont en conséquence toujours exigé de leurs collègues les plus mathématiciens qu'ils sachent présenter leurs théories au moyen de modèles mécaniques de la nature. » Nous pouvons donc constater qu'il existe bien un esprit français en physique. Mais il y a à première vue quelque chose de paradoxal par rapport à notre recherche, c'est que la notion de rationalité et d'ordre y semblent prépondérantes. Or, comme nous l'avons vu, ordre et symétrie semblent aller ensemble. Comment alors expliquer que les physiciens français n'accordent pas plus d'importance à la symétrie ? Dans le tableau 2, nous voyons que les Français voient le plus souvent le monde comme un mélange d'ordre et de chaos. C'est donc surtout l'ordre dans la démarche plutôt que l'ordre dans la réalité physique qui doit leur être cher. D'autre part, il est probable que l'esprit français de l'époque de Duhem ou de celle étudiée par Nye a perdu de sa spécificité. Peut-être s'est-il anglicisé, ou bien s'il perdure il faudrait pouvoir le montrer en le comparant à diverses nations. Il est également possible de s'appuyer sur l'analyse de Pestre (1984), plus récente, puisqu'elle concerne les physiciens de l'entre deux guerres. « La prééminence dans les manuels de l'époque de physique d'une démarche classique et cohérente, la présentation de la physique sous son aspect le plus ordonné, même si cela se fait au détriment des travaux perturbateurs les plus récents [...] nous semblent trouver leurs racines dans la volonté toujours réaffirmée en France de suivre des principes de clarté dans l'exposition et de logique dans l'énoncé des postulats et des théorèmes, dans le désir de ramener la science à une synthèse close et définitive : les maîtres mots toujours répétés sont logique rigoureuse, ordonnance solide, fermeté gracieuse, pureté élégante. Le désordre de la science en construction, voire en révolution – ne saurait être toléré. » (Pestre 1984, 198) Pestre montre donc que l'importance de l'ordre perdure, mais davantage dans la présentation de la science que dans l'idée que

l'on se fait du réel. Par ailleurs, il montre que les physiciens français préfèrent « souvent garder une science « rationnelle », c'est-à-dire cohérente, sans hypothèse, n'entraînant pas trop loin du cartésianisme géométrique, c'est-à-dire encore, ne s'éloignant pas trop de la Raison humaine triomphante qui a reconstruit le monde à partir de règles d'évidence. Bien sûr encore on sera capable d'accepter les théories efficaces nées ailleurs, mais ne pouvant les recevoir pleinement dans leurs implications para-scientifiques, on sera à peine en mesure d'innover, de faire œuvre créative originale en ce domaine. Les Français ont pu jouer un rôle essentiel dans la physique mathématique du XIX<sup>ème</sup> siècle, ils seront moins à l'aise dans les facultés d'imagination non classiquement rationnelles que demandera la physique quantique et le monde de l'atome, ils seront ceux qui auront le plus de difficulté à évoluer librement dans un monde de pseudo-objets ne se déplaçant plus dans le cadre du temps et de l'espace communs. Et cela semble vrai même pour ceux qui acceptèrent le plus vite ces théories étrangères : nous l'avons vu pour Paul Langevin et Louis de Broglie. » (Pestre, 1984, 201) Il y a donc, dans la tradition physique en France, une crainte des nouveautés théoriques, plus précisément des théories heurtant le bon sens ou bien celles dont les fondements expérimentaux ne sont pas jugés suffisants. Alors, ceci peut expliquer qu'entre un concept ayant une représentation concrète comme la particule et un objet ayant une représentation abstraite, comme la symétrie, le choix des physiciens français se porte davantage sur la particule, qui a, par ailleurs, fait ses preuves. Notre analyse gagnerait cependant à une comparaison avec d'autres pays, pour mieux déceler ce qui alimente actuellement le positionnement des physiciens français.

#### IV.C Le choix des mots

Le choix des mots nous révèlent lui-aussi quelques différences culturelles. D'après Saha & Chakraborty (2012), le terme « asymétrie » a été utilisé en France depuis 1691, tandis que le terme « dissymétrie » apparaît pour la première fois dans les années 1820 dans la littérature scientifique française où il fut surtout utilisé en cristallographie. Louis Pasteur a popularisé le terme « dissymétrie » lors d'une conférence de 1840 intitulée *Recherche sur la dissymétrie naturelle des produits chimiques*. Or, la conférence a été traduite en anglais par « Researches on the Molecular Asymmetry of Natural Organic Products ». Saha & Chakraborty suggèrent que Pasteur avait pourtant volontairement utilisé le terme « dissymétrie ». Il était bien conscient du fait que « les cristaux de sodium-ammonium-tartrate contenaient un axe triple de symétrie (l'axe principal) et trois axes doubles, c'est-à-dire, que le cristal est dissymétrique » (Pasteur cité par Saha & Chakraborty, p.777). D'après ces auteurs, Pasteur aurait donc délibérément choisi le mot « dissymétrie » avec pleine conscience de son sens, alors que le dictionnaire français de l'époque contenait les deux mots asymétrie et dissymétrie. D'ailleurs l'utilisation dans la langue anglaise de dissymétrique reste encore aujourd'hui moins courante que le terme « asymétrie ». D'après l'*Oxford English Dictionary*, l'introduction de « dissymétrie »<sup>26</sup> remonterait aux années 1880, à partir du vocabulaire de la chimie, il y est donc moins ancien qu'en France. En chimie, la dissymétrie et l'asymétrie sont aujourd'hui deux propriétés différentes indicatives de la chiralité d'une molécule<sup>27</sup>. La langue est là un révélateur de la variation culturelle au sujet d'une même notion scientifique.

Nous avons également pu observer que dans les propos des physiciens, le terme « dissymétrie » est apparu une fois, le terme « asymétrie » est apparu également une fois. Ce ne sont donc pas de concepts très utilisés par les physiciens, qui apparemment préfèrent utiliser les termes de « brisure de symétrie » (revenus régulièrement dans les discours). En effet, il semble que ces notions d'asymétrie et de dissymétrie soient surtout utilisées pour qualifier des molécules, en chimie. En physique, le mot « dissymétrie » est réservé surtout à des situations où une symétrie est brisée et donc conserve une forme de mémoire dans sa symétrie antérieure. Le terme « asymétrie » quant à lui se réfère davantage à des conditions où la symétrie n'a jamais été présente. Mais, comme nous venons de le voir, ces mots n'ont pas été beaucoup utilisés dans nos entretiens, à la du fait que nos questions ne portaient pas spécifiquement sur ces différences entre les deux termes mais aussi parce que leur différence n'a apparemment pas une importance décisive en physique.

<sup>26</sup>Définition de dissymétrie tirée du *Oxford English Dictionary* (www.oxforddictionaries.com, nov 2014) : 1. Lack of symmetry. 1.1 *technical* The symmetrical relation of mirror images, the left and right hands, or crystals with two corresponding forms.

<sup>27</sup> Chaque objet asymétrique, qui ne possède aucun élément de symétrie est chiral. Mais l'inverse n'est pas forcément vrai. Des objets chiraux peuvent posséder certains éléments de symétrie.

## **Conclusion : Importance accordée à la symétrie : que peut-on en conclure, et quel impact sur la recherche ?**

Que peut nous apporter le fait que, selon la culture des chercheurs, ils n'accordent pas la même importance à la notion de symétrie ? D'une part, cela permet de comprendre comment se fait - ou ne se fait pas - la reconnaissance par les physiciens d'un nouveau modèle explicatif ou théorique. Cette étude incite à penser que les physiciens indiens sont plus enclins à adopter une théorie fondée sur la symétrie. « J'ai eu à choisir et prouver la valeur d'une théorie parmi plusieurs dans ma thèse : il y a eu des aspects de simplicité, beauté, symétrie », raconte un jeune doctorant. Chaque savant n'a pas les mêmes critères de preuve. Il serait intéressant, pour compléter cette analyse d'étudier quels modèles théoriques ou explicatifs sont mieux acceptés en Inde et en France, comme par exemple la théorie des cordes ou bien la gravitation quantique à boucles. Une théorie peut avoir sa cohérence et être validée par de nombreuses expériences, cela ne peut suffire à son acceptation par tout le milieu physicien. Les physiciens s'appuient sur des critères de cohérence conscients ou non, qui relèvent de convictions philosophiques ou religieuses, dépendent de l'éducation reçue (sociale et scolaire), des spécialités pratiquées (physique mathématique ou physique expérimentale), etc. Nous confirmons donc ce qu'écrivait Dominique Pestre pour les physiciens français de l'entre guerre : l'ensemble des « valeurs relatives à la pratique scientifique auxquels croient les physiciens relève d'une longue tradition transmise depuis l'enfance, acquise à dose homéopathique journalière depuis les bancs de l'école » (Pestre, 1984, 173) même si cela semble moins vrai dans la science actuelle largement internationalisée.

Ainsi, la symétrie est, chez les physiciens indiens, synonyme d'ordre et d'équilibre ; elle est, pour les physiciens français, davantage une notion complexe qui cherche à se redéfinir et qui n'a de véritable intérêt que lorsqu'elle est brisée. Nous ne voulons pas dire que cette adhésion plus prononcée en faveur de modèles symétriques en physique est propre aux seuls physiciens indiens. Nous ne voulons pas dire non plus qu'ils sont communs à tous les physiciens indiens. Comme nous l'avons vu dans les discours qu'ils tiennent, il y a nombre d'exceptions. Nous avons voulu plutôt définir un comportement dominant, et qui se différencie d'un autre pays, en l'occurrence la France. Il serait intéressant de pouvoir comparer avec d'autres pays pour élargir notre analyse.

## **Bibliographie**

Chenet, François. "Philosophie Comparée Inde/Europe." *Conférence du 26 Mars 2013. Journées Franco-Indiennes de l'Université Jean Moulin-Lyon 3*. Lyon. 2013.

Clanet, Claude. *L'interculturel. Introduction aux approches interculturelles en éducation et en sciences humaines*. Toulouse. Presses universitaires du Mirail. 1990.

Coenen-Huther, Jacques. "La sociologie des sciences entre positivisme et sociologisme." *Revue européenne des sciences sociales* (XL-124): 219–31. 2002.

Descola, Philippe. *Par-Delà Nature et Culture*. Paris. Gallimard. 2005.

Duhem, Pierre. *La Théorie Physique : Son Objet, Sa Structure*. Paris. Vrin. 1981 (1906).

Férreol, Gilles et Jucquois, Guy. *Dictionnaire de l'altérité et des Relations interculturelles*. Paris. Armand Colin. 2004.

- Filliozat, Jean et Renou, Louis. *L'Inde classique, Manuel des études indiennes. Tome I*. Paris. Maisonneuve. 1985 (1947).
- Gayon, Jean. "De la catégorie de style en histoire des sciences". *Alliage* 26: 13–25. 1996.
- Heisenberg, Werner. *Physics and beyond: encounters and conversations*. New-York. Harper & Row. 1971.
- Lecourt, Dominique. "L'idée française de la science." *Académie des sciences morales et politiques*, Paris. 2002.
- Longair, Malcolm. *Quantum concepts in physics: an alternative approach to the understanding of quantum mechanics*. Cambridge. Cambridge University Press. 2013.
- Marriott, McKim. *The journal of asian studies India through hindu categories*. New Delhi, Newbury, London. Sage Publications. 1990.
- Nandy, Ashis. *Alternative sciences: creativity and authenticity in two indian scientists*. Oxford. Oxford University press. 1995.
- Nye, Mary Jo. *Science in the Provinces: Scientific communities and provincial leadership in France, 1860-1930*. Berkeley. University of California Press. 1986.
- Pestre, Dominique. *Physique et Physiciens En France, 1918-1940*. Paris. Editions des archives contemporaines. 1984.
- Poggi, Colette. "ÂKÂSHA Irradiating Space Cosmic Space, Microcosmic Space, Space of Consciousness." In *Présentation Au Congrès Du SARI 2012*, Paris. 2012.
- Ramanujan, a. K. "Is There an indian way of thinking? An informal essay." *Contributions to indian sociology* 23(1): 41–58. 1989.
- Rosen, J. *Symmetry rules: how science and nature are founded on symmetry*. Berlin. Springer. 2008.
- Roy, Arpita. *Dualism and Non-Dualism : Elementary Forms of Physics at CERN*. Thesis in philosophy and in anthropology in the graduate division of the University of California Berkeley. 2011.
- Saha, Chandan, and Suchandra Chakraborty. "Dissymmetry and Asymmetry A Hopeless Conflict in Chemical Literature." *Resonance* (August): 768–78. 2012.
- Siburn, Lilian. *Instant et Cause, Le Discontinu Dans La Pensée Philosophique de l'Inde*. De Boccard. Paris. 1989.
- Sur, Abha. *Dispersed Radiance: Caste, Gender, and Modern Science in India*. Navayana. Delhi. 2011.