

Année
2003

Revue publiée avec le concours du CNRS et du CNL T. 124, 5^e S.

Revue de Synthèses

Géométrie et cognition

Rossana Tazzioli, Massimiliano L. Cappuccio,
Francis Bailly et Giuseppe Longo, Bernard Victorri,
Jean-Luc Petit, Ronald Brown et Timothy Porter,
René Misslin, Jean Lassègue

Wiktor Stoczkowski :
L'anthropologie des animaux

REVUE CRITIQUE
Caroline Ehrhardt :
La trame de la logique floue et l'usure du temps
Comptes rendus

ÉDITIONS



RUE D'ULM

FONDATION
POUR LA
SCIENCE

Revue de Synthèse

Revue semestrielle
publiée avec le concours
du Centre national de la recherche scientifique
et du Centre national du livre

avec le soutien
du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche,
de l'École normale supérieure
et de l'École des hautes études en sciences sociales

Cinquième série
Année 2003
Série générale : tome 124

ÉDITIONS



RUE D'ULM

FONDATION POUR LA
SCIENCE

Fondation « Pour la science »
Centre international de synthèse
Direction : Michel Blay et Éric Brian

Revue de synthèse

Revue semestrielle fondée en 1900 par Henri Berr

Directeur de la publication et rédacteur en chef : Éric Brian

Secrétaire de rédaction : Agnès Biard, assistée de Laurie Catteeuw

Comité de rédaction

Charles Alunni, Étienne Anheim, Claude Blanckaert, Michel Blay,
Dominique Bourel, Philippe Boutry, Jean-Pierre Cléro, Jochen Hoock,
Dominique Margairaz, Henri-Jean Martin, Pierre-François Moreau,
Jean-Claude Perrot, Jean-Marc Rohrbasser

Comité de lecture

Guy Beaujouan, Jacques Brunschwig, Paolo Casini,
Roger Chartier, Joël Cornette, Robert Darnton, Robert Fox,
Dominique Julia, Reinhart Koselleck, Evrett Mendelsohn,
Stéphane Michaud, Jean Mosconi, Mona Ozouf,
Pierre Pellegrin, Roshdi Rashed, Daniel Roche,
Jean-Claude Schmitt, Pierre Vidal-Naquet

Direction et rédaction

Fondation « Pour la Science »
Centre international de synthèse
Caphés-Ums 2267 CNRS, 4, rue Lhomond, F-75005 Paris
Tél. +33(0)1 55 42 83 11 - Fax +33(0)1 55 42 83 19
revuedesyntese@ens.fr
<http://www.ehess.fr/acta/synthese>

Publication et diffusion au numéro

Éditions Rue d'Ulm, École normale supérieure
45, rue d'Ulm, F-75005 Paris
www.pressens.fr

Abonnements

Revue de synthèse - Abonnements
Caphés-Ums 2267 CNRS, 4, rue Lhomond, F-75005 Paris

Les textes publiés n'engagent que leurs auteurs

© 2004 Fondation « Pour la science »
Centre international de synthèse
et Éditions Rue d'Ulm

Géométrie et cognition

Présentation

- 1 Giuseppe LONGO
Géométrie et cognition. Entre fondements des mathématiques, théorie de la connaissance et cognition
Geometry and cognition. Between the foundations of mathematics, theory of knowledge and cognition

Articles

- 11 Rossana TAZZIOLI
Towards a history of the geometric foundations of mathematics. Late XIXth century
Pour une histoire des fondements géométriques des mathématiques. La fin du XIX^e siècle
- 43 Massimiliano Lorenzo CAPPUCCIO
Traces of a computational mind. From wax tablet to Turing machine
Des traces de l'esprit de calcul. Des tablettes de cire à la machine de Turing
- 61 Francis BAILLY et Giuseppe LONGO
Espace, temps et cognition. À partir des mathématiques et des sciences de la nature
Space, time and cognition. From mathematics and natural science
- 119 Bernard VICTORRI
Langage et géométrie. L'expression langagière des relations spatiales
Language and geometry. Linguistic expression of spatial relations
- 139 Jean-Luc PETIT
La spatialité originaire du corps propre. Phénoménologie et neurosciences
The original spaciality of the body itself. Phenomenology and neurosciences
- 173 Ronald BROWN et Timothy PORTER
The intuitions of higher dimensional algebra for the study of structured space
Les intuitions d'algèbres de plus hautes dimensions dans l'étude des espaces structurés

- 205 René MISSLIN
Une vie de cellule. Forme et espace
A cellular life. Form and space
- 223 Jean LASSÈGUE
La genèse des concepts mathématiques. Entre sciences de la cognition et sciences de la culture
The genesis of mathematical concepts. Between cognitive sciences and cultural sciences

Varia

- 237 Wiktor STOCZKOWSKI
L'anthropologie des animaux. Éthologie animale et savoirs anthropologiques dans l'œuvre de Charles-Georges Le Roy (1684-1753)
The anthropology of animals. Animal ethnology and anthropological knowledge in the work of Charles-Georges Le Roy (1684-1753)

Revue critique

- 261 Caroline EHRHARDT
La trame de la logique floue et l'usure du temps

Comptes rendus

MATHÉMATIQUES

- 271 VUILLEMIN (Jules)
Mathématiques pythagoriciennes et platoniciennes. Prés. Roshdi RASHED (J.-M. Rohrbasser)
- 274 IMBERT (Claude)
Pour une histoire de la logique. Un héritage platonicien (J. Dutant)
- 277 COUNET (Jean-Michel)
Mathématiques et dialectique chez Nicolas de Cuse (J.-M. Nicolle)
- 281 BERLIOZ (Dominique)
Berkeley. Un nominalisme réaliste (J.-M. Rohrbasser)
- 283 BELNA (Jean-Pierre)
Cantor (V. Dolisi)

HISTOIRE DES SCIENCES

- 285 BOUREAU (Alain)
Théologie, science et censure au XIII^e siècle. Le cas de Jean Peckham (É. Anheim)
- 289 RANGLES (William Graham Lister)
The Unmaking of the medieval Christian cosmos, 1500-1760. From solid heavens to boundless aether (S. Gonzalez)

- 291 *Systèmes de pensée précartésiens. Études d'après le colloque international organisé à Haïfa en 1994, réunies par Ilana ZINGUER et Heinz SCHOTT (C. Lüthy)*
- 293 SCHANDELER (Jean-Pierre)
Les Interprétations de Condorcet. Symboles et concepts (1794-1894) (B. Binoche)
- 297 DASTON (Lorraine), dir.
Biographies of scientific objects (V. Bontems)
- 300 CANGUILHEM (Georges)
Écrits sur la médecine. Av.-pr. d'Armand ZALOSZYC (V. Bontems)
- PHILOSOPHIE**
- 304 *Dans quelle mesure la philosophie est pratique. Fichte, Hegel.* Sous la dir. de Myriam BIENENSTOCK et Michèle CRAMPE-CASNABET, avec la collab. de Jean-François GOUBET (S. Buchenau)
- 307 DESCHÊNES (Jean-Guy)
Le Concept de fondement ou les confessions d'un hypocrite. Réflexions à la manière de Kierkegaard à partir du Concept d'angoisse (V. Delecroix)
- 310 HONG (Edna H.) et HONG (Howard V.), éd.
The Essential Kierkegaard (V. Delecroix)
- 313 FROGNEUX (Nathalie)
Hans Jonas ou la vie dans le monde. Préf. de Jean GREISCH (V. Bontems)
- 313 JONAS (Hans)
Le Phénomène de la vie. Vers une biologie philosophique. Trad. de l'anglais par Danielle LORIES (V. Bontems)
- 317 APEL (Karl-Otto)
La Controverse expliquer-comprendre. Une approche pragmatico-transcendantale. Trad. de l'allemand par Sylvie MESURE (N. Cominotti)
- COGNITION**
- 320 CLÉRO (Jean-Pierre)
Théorie de la perception. De l'espace à l'émotion (C. Laval)
- 323 CHAZAL (Gérard)
Les Réseaux du sens. De l'informatique aux neurosciences (M. Triclot)
- 326 PARROCHIA (Daniel), dir.
Penser les réseaux (M. Triclot)
- 329 BOURDEAU (Michel)
« *Locus logicus* ». *L'ontologie catégoriale dans la philosophie contemporaine* (J.-P. Ginisti)
- 333 **Ouvrages reçus**
- 341 **Tables du tome 124, année 2003**

GÉOMÉTRIE ET COGNITION
ENTRE FONDEMENTS DES MATHÉMATIQUES,
THÉORIE DE LA CONNAISSANCE ET COGNITION

Giuseppe LONGO

En 1999, en étroite collaboration avec Jean Petitot et Bernard Teissier, l'auteur de cette présentation a mis en place une série de conférences-débats sur le thème « Géométrie et cognition¹ ». Nos différentes préoccupations, faisant respectivement référence aux sciences cognitives, à la géométrie des systèmes dynamiques et à la géométrisation en informatique, ont trouvé un « espace conceptuel et de travail commun » grâce à cette initiative. Le manifeste qui accompagnait ce cycle de conférences, écrit en collaboration avec Petitot et Teissier, et transformé en projet d'atelier, a été ensuite généreusement financé par l'« Action cognitive » du ministère de la Recherche (dirigée par Catherine Fuchs), pour la période 2000-2002.

Ce volume est une des trois publications qui ont recueilli certaines des contributions aux séminaires et aux colloques organisés dans cet atelier².

Le texte qui suit est une introduction générale, reprise de la première partie du manifeste originel, aux thèmes de l'Atelier les plus en rapport avec les articles de ce volume.

L'ORIGINE D'UN DÉBAT

Un grand débat est à l'origine de l'analyse des fondements des mathématiques, au tournant du siècle. Un moment central en fut l'opposition radicale entre les visions de Bernhard Riemann et de Henri Poincaré, d'un côté, et celles de Gottlob Frege et de David Hilbert de l'autre. Riemann et Poincaré insistent sur le rôle de l'espace et sur la « constitution des concepts mathématiques » par l'homme, en tant qu'être vivant dans le monde. Frege propose des règles logiques universelles et indépendantes de l'homme, dont l'objectivité absolue constitue le fondement ultime des mathématiques, des règles à exprimer dans

1. Voir le « Cycle de conférences de démarrage », février-avril 1999, sur le site <http://www.di.ens.fr/users/longo/geocogni.html>.

2. Voir *infra* n. 14 et 15.

une « langue formulaire de la pensée ». Selon Hilbert, ces règles et ces axiomes, codés dans des suites finies de signes, devront satisfaire à la seule cohérence formelle pour « fonder » les mathématiques ou leurs différentes branches.

Au cours du xx^e siècle, Federigo Enriques et Hermann Weyl enrichiront les réflexions de Riemann et de Poincaré en y ajoutant l'appréciation de l'histoire, par cette analyse des « conceptualisations progressives » en mathématiques que l'on trouve dans leurs nombreux écrits philosophiques. Hilbert, au contraire, développera la logique mathématique de Frege et ira bien plus loin que lui : en cherchant la « certitude » dans la manipulation finitaire de langages formels cohérents, il posera les bases de la théorie de la Démonstration, en tant qu'analyse formelle et linguistique des mathématiques, telle qu'elle se développera surtout après les années 1930.

En fait, le « tournant linguistique » marque le siècle bien au-delà des projets de Frege : le raisonnement logique de Boole et de Frege est réifié dans une mathématique des suites finies de signes et leurs transformations effectives, la métamathématique de Hilbert, à l'intérieur de laquelle on pourra poser des problèmes mathématiques, des conjectures (la complétude, la décidabilité, la cohérence... d'un système d'axiomes et de règles), démontrer des résultats précis. La force conceptuelle, la rigueur et la précision mathématiques du programme de Hilbert feront oublier les remarques informelles, quoique profondes, de Riemann, Poincaré et des autres géomètres (dont aussi Helmholtz et Mach) : la logique mathématique se posera comme nouvelle discipline mathématique de grand relief et, en permettant de développer la notion de représentation ou codage finitaire (Kurt Gödel) et de calcul effectif (Jacques Herbrand, Kurt Gödel, Alan Turing, Alonso Church...), elle sera à l'origine de l'informatique. C'est ainsi que l'objectivité absolue des calculs logiques s'est en définitive trouvée objectivée dans des machines « formellement et parfaitement logiques ». Ces machines ne cessent, depuis cinquante ans, de changer notre vie, par leur extraordinaire efficacité dans tout ce qui est codable par des suites finies de signes et leurs transformations effectives. Les conséquences philosophiques impliquées par ce tournant fondateur et les machines qu'il a engendrées ont été énormes dans le domaine de la théorie de la connaissance et de l'esprit et, par conséquent, dans celui des sciences cognitives.

Ce sont justement les succès et les limites des analyses et des applications basées sur « le traitement finitaire de suites finies de signes » qui nous poussent à aller, au-delà de ces outils, vers une méthode épistémologique et scientifique qui intègre aussi les autres formes de la connaissance et du rapport de l'homme au monde. Il est temps de revenir aux idées esquissées par Riemann, Poincaré, Weyl et Enriques, pour reprendre une réflexion scientifique, en fait mathématique, sur l'épistémologie des mathématiques et leur origine cognitive. Ce volume est une première tentative dans cette direction, développée dans le cadre d'une série d'exposés présentés à l'atelier « Géométrie et cognition ».

LA GÉOMÉTRIE : D'UNE SCIENCE DE L'ESPACE
À UNE SCIENCE DU MOUVEMENT DANS L'ESPACE

La géométrie des Grecs était une « science des figures » ; avec Riemann, et après Descartes, elle est devenue une « science de l'espace ». Poincaré est allé plus loin, en soulignant le rôle du mouvement dans l'espace : « Un être immobile n'aurait jamais pu acquérir la notion d'espace puisque, ne pouvant corriger par ses mouvements les effets des changements des objets extérieurs, il n'aurait eu aucune raison de les distinguer des changements d'état³ » ; « [I]ocaliser un objet en un point quelconque signifie se représenter le mouvement (c'est-à-dire les sensations musculaires qui les accompagnent et qui n'ont aucun caractère géométrique) qu'il faut faire pour l'atteindre⁴. »

Pour Poincaré, comme pour Riemann, il n'y a pas une théorie géométrique *a priori* du monde, donnée par une axiomatique formelle. C'est plutôt « la présence des corps, les solides naturels » et notre propre corps, notre mouvement et les changements d'état qui constituent l'espace et qui nous le font appréhender ; « les axiomes ne sont que des définitions déguisées », dont on choisit « les plus commodes » pour nous, êtres biologiques vivant dans ce monde⁵. Toutefois, pour Poincaré, la géométrie du monde sensible n'est pas la géométrie mathématique, car, continue-t-il, « les sensations musculaires [...] n'ont aucun caractère géométrique [...] ». C'est ce clivage, qui le conduit à un certain conventionnalisme, qu'il faut aujourd'hui dépasser : il faut reconstruire la géométrie mathématique à partir de celle du monde sensible, expliquer pourquoi nos choix explicites sont « plus commodes », en utilisant les outils que les mathématiques, la géométrie tout d'abord, mais aussi la logique mathématique, nous ont donnés au cours des dernières décennies, en combinaison avec l'apport des neurosciences et des sciences cognitives.

Nous pouvons prendre un exemple, à partir du livre d'un physiologiste, Alain Berthoz⁶ : la capture d'une balle qui approche. Selon Berthoz, au cours de l'action, il n'y a pas de reconstruction centralisée de l'espace extérieur, mais une intégration multisensorielle de différents référentiels⁷, chacun d'eux permettant de « simuler » l'espace de la perception. C'est-à-dire que l'espace n'a pas besoin d'être représenté de façon explicite, dans un système de coordonnées cartésiennes ou par un codage pixel par pixel des points de l'espace : le seuil musculaire relatif à un certain angle du bras, par exemple, est lui-même le référentiel ou le codage d'une distance. C'est ainsi que, quand on fait un

3. Henri POINCARÉ, *La Science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1902, p. 78.

4. ID., *La Valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1905, p. 67.

5. ID., *op. cit. supra* n. 3, p. 75-76.

6. Alain BERTHOZ, *Le Sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob, 1997.

7. ID., *ibid.*, p. 90.

mouvement pour saisir un objet, le référentiel est constitué par l'espace articulaire et quantifié par les seuils musculaires, y compris ceux des muscles oculaires. Il nous paraît donc que le référentiel spatial est, en premier lieu, analogiquement reconstruit sur la rétine : l'élargissement de l'image bidimensionnelle est une « simulation analogique » du mouvement de la balle ; ensuite, cette « simulation » est transférée, par mille passages intermédiaires, sur le système référentiel donné par les articulations du bras et quantifié par la proprioception des seuils musculaires. Le passage d'une représentation analogique à une autre, l'intégration, par comparaison et constitution d'invariants (l'aperception de la stabilité de certains phénomènes), est le premier élément constitutif de cette intelligence qui nous permet l'action et qui, en fait, a sa genèse dans notre action dans le monde, dans la pluralité de nos représentations du monde et de notre action. En bref, cette toute première forme d'intelligence, le bras qui se lève et saisit la balle qui s'approche, réside tout d'abord dans le transfert de la représentation analogique de la balle, de sa vitesse et de son accélération sur la rétine sur une autre représentation analogique, celle des seuils musculaires, qui simulent la direction, la vitesse, l'accélération de la balle dans leur propre système de référence, celui des articulations du bras. Cette intelligence « géométrique » est loin d'être indépendante des codages, tout au contraire elle se construit comme réseaux de codages ou de représentations analogiques ; elle est acquise par une pratique de l'action dans le monde, sur un corps et une protocarte cérébrale qui rendent ce réseau possible. La pratique de l'invariance des objets du monde par rapport à la pluralité de nos référentiels et de nos codages nous permet de construire ou de concevoir, après coup, cette « invariance » ou stabilité qui sera propre à nos représentations conscientes, celles du langage et de l'espace par exemple, jusqu'aux constructions conceptuelles les plus stables, les plus invariantes, celles des mathématiques.

L'analyse de la constitution dans la praxis de nos invariants conceptuels demande un effort mathématique remarquable, qui part du dialogue avec les biologistes et les physiologistes et utilise l'analyse des jeux des référentiels géométriques. En particulier, l'espace dont nous parlent les physiologistes est toujours structuré par le geste, le mouvement : il n'est jamais absolu, mais relatif à la structure qui intéresse. En fait, l'analogie reconstruit l'essentiel (la structure spatiale intéressante) du phénomène simulé, dans le but de l'action. Le référentiel modulaire des seuils, des saccades, du système vestibulaire, du toucher, est choisi et modifié selon la structure de l'espace ; il est fonctionnel par rapport à l'action du moment : la saccade qui simule la course de la proie ou précède la poursuite, le mouvement du bras qui simule le déplacement de l'objet à saisir, préservent exactement la structure de l'espace utile à l'action. Or, l'analyse des « espaces mathématiques structurés » est un enjeu central en géométrie et dans l'une de ses généralisations les plus importantes : la théorie des Catégories, en tant que théorie des transformations qui préservent

la structure (qui intéresse). En conclusion, la question que nous posons, par cette analyse, est celle du rapport entre construction géométrique (conceptuelle, proposée par l'homme dans l'histoire) et perception/simulation mentale des espaces physiques et de notre mouvement dans ces espaces, en tant qu'être vivant. C'est la question des rapports entre géométrie mathématique et géométrie du monde sensible. Et, bien évidemment, la géométrie des espaces physiques sera une extension de celle du monde sensible par des variantes pertinentes des modes d'accès et de mesure (en astrophysique : variétés riemanniennes ; en microphysique : géométrie non-commutative⁸).

ÉPISTÉMOLOGIE ET GENÈSE

Dans un article de 1927, Weyl⁹ explique que l'analyse formelle des théories mathématiques, en fait de leur cohérence logique, n'est qu'un élément nécessaire pour l'analyse fonctionnelle ; que ce n'est nullement une condition suffisante, ni d'un point de vue épistémologique, ni pour une recherche fondationnelle analytique. Ce sont plutôt les significations, bâties à partir de « nos actes d'expérience » (pour reprendre Weyl), c'est-à-dire les structures sous-jacentes des relations avec le monde sensible – que nous introduisons plus ou moins implicitement – qui permettent au mathématicien de « comprendre » la preuve ou de formuler des conjectures, et qui suggèrent au logicien les conditions suffisantes pour la constitution d'un système formel, point d'aboutissement, et non pas de départ, d'une pratique conceptuelle. En somme, dans notre opinion, c'est l'analyse du processus génétique de constitution d'un système qui met en évidence la « nécessité » de ce système. Husserl précisera : « L'évidence originaire ne peut pas être interchangeée avec l'évidence des "axiomes" ; car les axiomes sont principiellement déjà les résultats d'une formation de sens originaire et ont cette formation elle-même toujours déjà derrière eux¹⁰. »

Les « conventions » axiomatiques viennent donc après la « formation de sens originaire ». Au contraire, comme il a été mentionné plus haut, les pères fondateurs de la logique mathématique, au début du XX^e siècle, ont pris pour fondement des axiomes et des règles, en tant qu'« atomes logiques » d'une langue de la pensée, et ont pu proposer cette discipline remarquable grâce au

8. Giuseppe LONGO, « Space and time in the foundations of mathematics », Invited lecture, First AMS-SMF meeting, Lyon, juil. 2001, à paraître.

9. Hermann WEYL, « Commentary on Hilbert's second lecture on the foundations of mathematics », in VAN HEIJENOORT (Jean), *From Frege to Gödel. A source book in mathematical logic, 1879-1931*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1967.

10. Edmund HUSSERL, *L'Origine de la géométrie*, 1^{re} éd. 1933, ici trad. franç., Paris, Presses universitaires de France, 1962, p. 192-193.

« [...] dogme tout-puissant de la cassure principielle entre l'élucidation épistémologique et l'explicitation historique aussi bien que l'explicitation psychologique dans l'ordre des sciences de l'esprit, de la cassure entre l'origine épistémologique et l'origine génétique ; ce dogme, dans la mesure où on ne limite pas de façon inadmissible, comme c'est l'habitude, les concepts d'"histoire", d'"explicitation historique" et de "genèse", ce dogme est renversé de fond en comble¹¹ ».

C'est à ce renversement que nous voulons œuvrer, car c'est possible aujourd'hui. C'est possible, grâce aussi aux percées de la logique mathématique : les nombreux résultats d'incomplétude des dernières décennies nous confirment le rôle essentiel de la géométrie (au moins l'ordre) ainsi que de l'infini mathématique en général, même dans la preuve de théorèmes finitaires, en théorie des nombres par exemple¹².

LA CONSTITUTION DES INVARIANTS MATHÉMATIQUES LEUR INTÉRÊT COGNITIF

En reprenant la « distinction » de Weyl, quand on considère la question de l'identification des conditions suffisantes pour l'émergence d'une théorie, celles qui exigent cette théorie et la rendent possible, l'enjeu, cette fois, n'est pas interne aux mathématiques. Il exige un examen de l'insertion des mathématiques dans leur contexte opératoire, dans le monde, un examen de l'interface entre notre esprit et le monde, où s'amorcent les conceptualisations mathématiques.

En fait, l'objectivité des conceptualisations mathématiques a ses sources dans les processus constitutifs de celles-ci.

Les nombres réels, par exemple, n'ont pas une objectivité par eux-mêmes, ils acquièrent à la fois existence et objectivité par la construction de Cantor-Dedekind qui constitue les réels standard à partir des entiers induits par nos perceptions courantes. (En outre, il y a aussi d'autres constructions, non-standard, qui suivent d'autres parcours et conduisent à d'autres résultats.) En ce sens, les réels ne sont pas des entités platoniciennes, des déjà-là-depuis-toujours-et-« en eux-mêmes »-tels-qu'ils-sont.

11. ID., *ibid.*, p. 201.

12. G. LONGO, « On the proofs of some formally unprovable propositions and prototype proofs in type theory », Invited lecture, *Types for proofs and programs*, Durham, G.-B., déc. 2000, *Lecture notes in Computer Science*, 2327, éd. CALLAGHAN (James) *et al.*, Heidelberg, Springer, 2002, p. 160-180.

Les processus constitutifs des conceptualisations mathématiques sont donc de nature cognitive et ils sont ensuite soumis à l'historicité. Une analyse satisfaisante de ces processus conduit à réexaminer la théorie des démonstrations selon laquelle les bases des conceptualisations mathématiques se trouvent dans les formalismes linguistiques et dans les principes généraux de preuve syntactique. Notamment, le rôle des topologies et de la géométrie en logique – et, pour nous, avec ses origines cognitives – doit être réaffirmé, autant sur le plan technique que sur un plan philosophique ainsi que sa construction à partir de notre rapport avec le monde et du vivre dans le monde (à partir de Riemann, Helmholtz, Poincaré, Weyl, comme il vient d'être dit). De plus, ce rôle est déjà présent dans les structures topologiques et les topos pour la logique intuitionniste, avec leurs applications à l'informatique initialement proposées par Dana S. Scott, et, surtout, grâce aux idées très originales de Jean-Yves Girard en théorie de la Démonstration (la logique linéaire, en particulier, où la géométrie ne concerne pas seulement les structures sous-jacentes, mais entre aussi « par la fenêtre », dans la structure elle-même des preuves, par les « réseaux des preuves »).

En outre, les mathématiques, tout en étant, dans leur genèse, intimement liées aux autres formes générales de la connaissance, présentent une très forte spécificité lorsqu'elles sont déjà accomplies. Aucune autre forme de représentation du monde n'est si essentiellement et explicitement fondée sur l'exigence d'indépendance des structures face aux représentations, face aux notations employées. Cette exigence est le cœur même de la conceptualisation mathématique, de son type particulier de généralité. De plus, les mathématiques, à tout niveau, sont en quête d'une « simplicité » maximale, même – surtout – quand elles sont profondes. « L'élégance », la recherche de ce qui est « essentiel », « minimal », « stable », en bref la recherche de sortes de « géodésiques » abstraites – comme méthode liée à un principe que l'on est tenté de qualifier d'« esthétique » – en font partie de façon constituante. Or, le rôle de l'invariance au sens des mathématiques peut éclairer fortement les efforts d'analyse des processus quelconques de la cognition humaine. Il peut également guider pour l'identification des contraintes qui ont présidé implicitement à la structuration de formes de représentation de connaissances plus complexes que les systèmes mathématiques abstraits, et dont les principes sont donc plus difficiles à isoler directement, plus cachés qu'en mathématiques pures.

Pour toutes ces raisons, les mathématiques ont déjà été très souvent au centre des réflexions philosophiques en épistémologie, et il faut les y maintenir. En particulier, il nous semble que le rôle de la géométrie est le plus central, car « *geometry is more compelling* », comme aime le dire Scott (mais Girard serait également d'accord). C'est un fait que, en mathématiques, la géométrie est le lieu préféré de la « signification » : pour analyser ce fait, il faut développer notre thèse qui lie la géométrie mathématique à l'espace sensible.

INFINI ET GÉOMÉTRIE : DU CONTINU AUX SYSTÈMES DYNAMIQUES

Nous en avons assez dit sur notre intérêt concernant les aspects des fondements non linguistiques, non formels, des mathématiques et le rôle de la géométrie. Quant au concept d'infini mathématique, il s'agit là d'un des exemples les plus intéressants de « conceptualisation progressive », au cours de l'histoire : un concept « métaphysique » qui est devenu une « pratique mathématique », qui s'est concrétisé dans des contextes opérationnels, de l'analyse infinitésimale à la théorie des ordinaux de Cantor. Mais l'infini a acquis une signification bien solide également grâce à son sens géométrique, et tout d'abord en géométrie projective : les points à l'infini de la peinture de Piero Della Francesca, un des inventeurs de cette géométrie, est une des « conceptualisations » humaines les plus fortes et les plus rigoureuses du concept d'infini.

Il faut donc développer une analyse du rôle de l'infini dans les fondements des mathématiques sous deux aspects essentiels. D'un côté, maints résultats de ces vingt dernières années montrent que l'infini (en acte, bien évidemment) entre massivement dans la preuve de théorèmes dont les énoncés sont finitaires (arithmétiques) comme le théorème de Paris-Harrington ou le théorème de Friedman prouvant la version finie du théorème de Kruskal¹³. Il nous paraît toutefois qu'il manque une analyse « fine », épistémologique et mathématique, de ce phénomène. D'un autre côté, des résultats encore plus récents établissent des liens profonds entre la sémantique de certains systèmes logiques et la géométrie des systèmes dynamiques.

Quelle notion de calcul pouvons-nous transférer sur ces derniers systèmes « continus » ? Comment l'analyse mathématique, par des outils du continu, de certains systèmes discrets (langages formels et pour le calcul) peut-elle nous informer sur leur sens et sur leur expressivité ? Quels liens existent entre le continu des structures utilisées pour la sémantique des langages et systèmes formels et, en passant par leur nouveau rôle dans les systèmes dynamiques, le continu des analyses morphodynamiques, en particulier thomiennes, du langage ?

L'INFORMATIQUE

Le projet de réification de la rationalité dans les « règles formelles », qui s'est développé au cours du xx^e siècle, est à la base de l'invention des ordinateurs, dans les années 1930 et 1940 : les suites finies de symboles, en tant que codage d'axiomes et de règles de déduction, permettent de manipuler

13. Id., *ibid.*

d'énormes quantités de données. L'intelligence s'est transformée en la manipulation finitaire des suites finies de 0 et 1.

Malheureusement ce projet, bien que si efficace, s'est heurté à des limites bien précises. En fait, derrière les résultats d'incomplétude, que le logicisme et le formalisme eux-mêmes ont su nous donner, il y a la praxis humaine de la démonstration, qui utilise largement des références directes à l'espace (mental et physique) : ce qui « manque » à la déduction formelle ou mécanique est le bon ordre géométrique dans lequel nous rangeons les nombres dans nos espaces mentaux, ce sont les jugements explicites sur le continu spatial, sa connexion, les symétries, les analogies entre formes et mouvement. On a souvent « caché » ces pratiques conceptuelles sous une référence vague à « l'intuition ». Il est temps de développer une analyse scientifique, en termes « cognitivistes », de ces aspects implicites du raisonnement, en particulier spatial, aussi rationnels que ceux gouvernés par les « règles logico-linguistiques finitaires ». C'est l'informatique même qui l'exige et cela pour au moins deux raisons différentes :

- l'essor remarquable des systèmes de calcul dans lesquels l'espace et le temps jouent un rôle central (distribution et asynchronie des systèmes concurrents), et qui sont mal représentés par certaines variantes des langages et méthodes essentiellement séquentiels ;

- les difficultés immenses auxquelles s'est trouvée confrontée l'Intelligence Artificielle, en particulier la robotique, dans la simulation des tâches humaines ou animales les plus simples, en particulier quand le rapport à l'espace et au mouvement y sont centrales.

Certains des thèmes esquissés dans cette présentation ont été repris dans des ouvrages techniques, parus ou à paraître dans les numéros spéciaux de deux revues internationales très connues. Pour certains aspects de la géométrie dans l'informatique des systèmes concurrents, un des membres de l'Atelier, Éric Goubault, a édité en 2000 le volume *Geometry and concurrency*¹⁴.

Les actes d'un colloque sur les fondements des mathématiques, organisé également dans le cadre de l'Atelier, édités par Giuseppe Longo et Phil Scott, paraîtront sous le titre *New programs and open problems in the foundations of mathematics*¹⁵.

Les articles de ce numéro spécial de la *Revue de synthèse* reprennent le problème de l'espace et de son intelligibilité mathématique sous différentes formes : son histoire, son rapport au temps et à la causalité en physique, son rôle dans les langues naturelles. L'action dans l'espace ainsi que l'espace interne d'un monocellulaire aux performances remarquables sera suivie d'une

14. N° spéc. de *Mathematical Structures in Computer Science* (Cambridge University Press), vol. X, 4, août 2000.

15. N° spéc. de *The Bulletin of Symbolic Logic*, Association for Symbolic Logic, vol. XI, 2, juin 2003.

réflexion phénoménologique sur la dynamique constituante de la conscience du corps propre dans l'espace. Après une approche originale de l'algèbre, sorte de géométrisation de l'algèbre, on analysera l'origine historique possible de la lecture du monde en termes de formalismes linguistiques mécanisants.

Au cours de l'année 2002, les activités de cet atelier ont contribué à la mise en place d'un projet de recherche plus spécifique, sous la forme d'une nouvelle équipe au sein du département d'Informatique de l'École normale supérieure : l'équipe « Complexité et information morphologiques¹⁶ ».

Giuseppe LONGO
*CNRS-Département d'Informatique,
École normale supérieure, Paris,
et CREA, École polytechnique.*

16. <http://www.di.ens.fr/~longo/CIM/projet.html>

TOWARDS A HISTORY OF THE GEOMETRIC FOUNDATIONS OF MATHEMATICS

LATE XIXth CENTURY*

Rossana TAZZIOLI

RÉSUMÉ : Beaucoup de « géomètres » du XIX^e siècle – Bernhard Riemann, Hermann von Helmholtz, Felix Klein, Riccardo De Paolis, Mario Pieri, Henri Poincaré, Federigo Enriques, et autres – ont joué un rôle important dans la discussion sur les fondements des mathématiques. Mais, contrairement aux idées d'Euclide, ils n'ont pas identifié « l'espace physique » avec « l'espace de nos sens ». Partant de notre expérience dans l'espace, ils ont cherché à identifier les propriétés les plus importantes de l'espace et les ont posées à la base de la géométrie. C'est sur la connaissance active de l'espace que les axiomes de la géométrie ont été élaborés ; ils ne pouvaient donc pas être *a priori* comme ils le sont dans la philosophie kantienne. En outre, pendant la dernière décennie du siècle, certains mathématiciens italiens – De Paolis, Gino Fano, Pieri, et autres – ont fondé le concept de nombre sur la géométrie, en employant des résultats de la géométrie projective. Ainsi, on fondait l'arithmétique sur la géométrie et non l'inverse, comme David Hilbert a cherché à faire quelques années après, sans succès.

MOTS-CLÉS : Riemann, Helmholtz, fondements des mathématiques, géométrie, espace.

ABSTRACT : Many XIXth century « geometers » – such as Bernhard Riemann, Hermann von Helmholtz, Felix Klein, Riccardo De Paolis, Mario Pieri, Henri Poincaré, Federigo Enriques, and others – played an important role in the discussion about the foundations of mathematics. But in contrast to Euclid's ideas, they did not simply identify « physical space » with the « space of the senses ». On the basis of our experience in space, they intended to determine the main properties of space and put them at the very foundation of geometry. The axioms of geometry were hence based on active knowledge of space and were not a priori, as in the case according to kantian philosophy. Moreover, in the last decade of the century some Italian mathematicians – De Paolis, Gino Fano, Pieri, and others – founded the concept of number itself on geometry, by using results of projective geometry. Arithmetic was then founded on geometry and not reversely, as David Hilbert tried – without success – to do some years later.

KEYWORDS : Riemann, Helmholtz, foundations of mathematics, geometry, space.

* This paper has been partly supported by « Géométrie et cognition » (Action cognitive, ministère de l'ENRT) and « Fondi MIUR » (Group of the university of Palermo directed by Umberto Bottazzini).

ZUSAMMENFASSUNG : Viele « Geometer » vom 19. Jahrhundert – Bernhard Riemann, Hermann von Helmholtz, Felix Klein, Riccardo De Paolis, Mario Pieri, Henri Poincaré, Federigo Enriques, und anderen – haben eine wichtige Rolle in der Debatte über die Grundlagen der Mathematik gespielt. Im Gegensatz zu den euklidischen Vorstellungen haben sie aber nicht den « physikalischen Raum » mit dem « Raum unserer Sinnen » identifiziert. Ausgehend von unseren Erfahrungen im Raum haben sie versucht, dessen wichtigsten Eigenschaften zu bestimmen um daraus die Grundlagen der Geometrie zu machen. Die Axiome der Geometrie waren also auf aktiver Kenntnis des Raumes gebaut und nicht a priori wie nach der kantianischen Philosophie. Ausserdem haben während des letzten Jahrzehnts des Jahrhunderts gewisse italienische Mathematiker – darunter De Paolis, Gino Fano und Pieri – unter Anwendung von Ergebnisse der projektiven Geometrie den Begriff selbst der Zahl auf der Geometrie gebaut. Sie bauten also die Arithmetik auf der Geometrie und nicht umgekehrt, wie es David Hilbert ohne Erfolg einige Jahre später versucht hat.

STICHWÖRTER : Riemann, Helmholtz, Grundlagen der Mathematik, Geometrie, Raum.

RIASSUNTO : Molti « geometri » del diciannovesimo secolo – Bernhard Riemann, Hermann von Helmholtz, Felix Klein, Riccardo De Paolis, Mario Pieri, Henri Poincaré, Federigo Enriques e altri ancora – hanno svolto un ruolo importante nella discussione sui fondamenti della matematica. Ma, contrariamente alle idee di Euclide, essi non hanno identificato lo « spazio fisico » con lo « spazio dei nostri sensi ». A partire dalla nostra esperienza nello spazio, essi hanno cercato di individuare le proprietà più importanti dello spazio e le hanno poste a fondamento della geometria. Gli assiomi della geometria risultavano così fondati sulla conoscenza attiva dello spazio e non erano a priori, come nella filosofia kantiana. Inoltre, durante l'ultima decade del secolo, alcuni matematici italiani (come De Paolis, Gino Fano, Pieri e altri) hanno fondato il concetto stesso di numero sulla geometria, impiegando risultati propri della geometria proiettiva. In tal modo, l'aritmetica si fondava sulla geometria e non viceversa, come David Hilbert avrebbe tentato di fare qualche anno più tardi ma senza successo.

PAROLE CHIAVE : Riemann, Helmholtz, fondamenti della matematica, geometria, spazio.

Rossana TAZZIOLI, born in 1962, is associate professor in the history of mathematics at the University of Catania (Italy). Her research concerns especially the history of geometry and mathematical physics in the XIXth and XXth centuries.

Address : Dipartimento di matematica e informatica, viale Doria 6, I-95125 Catania.

E-mail : tazzioli@dmf.unict.it

This paper is not a complete *compendium* on the history of the foundations of mathematics during the late XIXth century. The author's aim is to show that in the XIXth century geometry played an important role in the discussion of the foundations of mathematics and that many mathematicians tried to found geometric axioms on our active organisation and experience of space.

Riemann's memoir on manifolds, Helmholtz's papers on rigid bodies, and the works of Klein and Sophus Lie on the theory of transformation groups can be regarded as elements of a great strategy for the foundations of mathematics, which aims at founding geometry on our perception and construction of space.

They did not simply identify « physical space » with the « space of the senses » ! From this identification Euclid wrongly extended our « medium sized » experience to any scale. According to Euclid, since similar figures exist by our experience, they also exist in any space – very small or very large. This property characterizes Euclidean geometry ; as a consequence, Euclidean geometry should be valid for any scale of space.

Many XIXth century mathematicians thought that geometry is an experimental science, but that it is not the simple image of the world. In other words, « physical space » and the « space of the senses » are not the same thing. They tried to realize which are the most relevant properties of space – the properties which *structure* our space – and posed them at the basis of geometry. Of course, their ideas were sometimes very different.

Some of them considered « measurement » as the most significant operation in space. This is possible when a « rigid meter » is preserved during any motion in space. In such a case we may measure, since we may compare lengths. Since spaces with constant curvature – positive, negative or zero – preserve rigid movements, as Riemann and Helmholtz pointed out, any of them can be considered like the space where we live and measure.

According to them, our active knowledge of space plays an essential role in the formulation of geometric axioms and foundations of geometry are based on our experience in space. But not only that. During the last decades of the century, some Italian mathematicians – such as De Paolis, Fano, Pieri, and others – succeeded in founding the theory of real numbers – and the concept of *number* itself – on geometry, by using some results of projective geometry. In such a way, arithmetic was based on geometry. Some years later, in his formalistic programme Hilbert aimed to do the opposite. Nevertheless Kurt Gödel proved that Hilbert's hope – to found geometry on arithmetic – had to remain just a hope.

RIEMANN'S « HYPOTHESES »

On June 10, 1854 Riemann held his *Habilitationsvortrag* on the principles of geometry¹ at the university of Göttingen. His lecture strongly contributed to differential geometry, topology, foundations of geometry, and to physics as well. Riemann tried to be as clear as possible, since many professors of philosophy with little mathematical knowledge attended his lecture. Therefore he did not use the typical language of professional mathematicians ; this choice made his arguments and results very difficult to understand.

Riemann thought that the difficulties regarding the foundations of geometry were mainly due to the following reasons : the confusion between topological concepts – depending on shape – and metrical concepts – depending on measure – and the fact that « the general concept of multiply extended quantities, which includes spatial quantities, remains completely unexplored² ». According to Riemann, the notion of « multiply extended quantity » must be deepened and posed as the foundation of geometry.

In the first part of Riemann's lecture a « multiply extended quantity » has the simple meaning of set of points, discrete or continuous, but in the following sections it assumes a geometric meaning and gets closer and closer to the modern definition of n -dimensional manifold. The spherical surface and the plane are examples of 2-dimensional manifolds ; generally speaking, a manifold is a smooth space, where a system of coordinates is defined in the neighbourhood of each point and all the systems of coordinates coincide on the overlapping regions.

Riemann posed a differential expression – the linear element or first fundamental form – as the basis of his theory, actually known as the metric tensor, which represents the distance between two infinitely close points :

$$(2.1) ds^2 = \sum_{ij} g_{ij} dx^i dx^j$$

where g_{ij} is a symmetrical and positively definite matrix, and $x^1 \dots x^n$ are coordinates on the manifold.

This hypothesis is not accidental. In fact, for a Euclidean 3-dimensional space the formula (2.1) becomes $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$, which is the usual distance, given by the theorem of Pythagoras, between the origin of a Cartesian coordinate system and the point (dx_1, dx_2, dx_3) infinitely close to the origin. Therefore, the linear element (2.1) extends the usual concept of distance between infinitely close points to an n -dimensional space, not necessarily *flat* such as the Euclidean space is.

A generalization of the Euclidean distance has already been defined by Carl Friedrich Gauss, who was Riemann's teacher at the university of Göttingen, in

1. RIEMANN, 1854.

2. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 135.

his theory of curved surfaces³. The linear element (2.1) reduces to the Gaussian first fundamental form in the case that the manifold has 2 dimensions, that is to say if it is a surface.

In his memoir Riemann follows Gauss's fundamental steps, by extending Gaussian concepts and results for surfaces to n -dimensional manifolds, such as the measure of curvature and some properties of geodesic lines. Riemann's approach, as that of Gauss, is metric ; in fact, the concept of distance plays the fundamental role whether in the theory of curved surfaces or in Riemannian theory of manifolds ; moreover, the essential properties of manifolds are expressed by means of the linear element.

In his lecture Riemann refers to the « Privy Councillor Gauss », to the works of Euclid and Adrien-Marie Legendre, and to « some philosophical researches of Herbart ». As one can read in some notes found in his personal papers posthumously – the *Fragmente philosophischen Inhalts*, written about 1853⁴ – Riemann appreciated highly Johann Friedrich Herbart's psychology as contained in his *Promotionsschrift* and *Habilitationsschrift*. By applying Herbartian psychological theory Riemann answered the question⁵ : « When is our knowledge of the world true ? » as follows : « When connections between our [mental] representations correspond to connections of things », and « connections of things » are deduced from « connections of phenomena ». This approach is typical of all Riemann's work and leads him to investigate links between different laws of nature, knowledge of which is based on the exactness of our description of phenomena in infinitesimal regions. As Hermann Weyl wrote in *Space, time, matter*, « the principle of gaining knowledge of the external world from the behaviour of its infinitesimal parts is the mainspring of the theory of knowledge in infinitesimal physics as in Riemann's geometry⁶ ». And his deep conviction is in line with Riemann's ideas : to found the concept of « multiply extended quantity » (n -dimensional manifold) on the notion of distance between infinitely close points. This point of view is the core of Riemann's metric approach to the study of geometry and its foundations.

As Riemann notices in his lecture, « the basis for the metric relations must be sought outside it [*i. e.* space], in binding forces acting upon it⁷ », in its own structure. In his *Fragmente philosophischen Inhalts*⁸, Riemann elaborated a model of the ether by analysing interactions between two infinitely close particles ; according to his model, the ether was able to propagate magnetic and

3. GAUSS, 1827.

4. RIEMANN, 1876.

5. The references are in RIEMANN, 1876, here 1990, p. 523. Our translation.

6. WEYL, 1952, p. 92.

7. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 152.

8. RIEMANN, 1876.

electromagnetic forces, light, heat and gravity. Therefore, local properties of infinitesimal regions of space force the global geometry of space⁹.

The definition of a manifold by means of its linear element (2.1) can also be interpreted as independent of our perception of space. In some unpublished notes concerning his lecture, Riemann claimed : « The concept of an n -dimensional manifold exists independently of our intuition of space. Space, surface, line are only intuitive examples of manifold with 1, 2, or 3 dimensions respectively. *Without any spatial intuition we could build all geometry*¹⁰. » From the concept of temperature, Riemann added, the idea of *continuum* can be gained, by considering all possible temperatures between $-\infty$ and $+\infty$. One may then look at a linear equation $ax + by + c = 0$, and consider all the cases when x and y satisfy this equation. Then one obtains a straight line and « from this definition of the straight line one can deduce all the geometric properties of straight lines. It is evident that it is possible to go on this way, without any appeals to spatial intuition¹¹ ». Therefore, all the Euclidean axioms appealing to intuition are not needed any more, such as the axiom that only one straight line passes through two given points. Riemann noticed : « However, even if this treatment of geometry is very interesting, the pursuit of this approach would be extremely unfruitful, since no new principle could be found : that which is simple and clear in the representation of space would become complicated and difficult¹². » So analysis and intuition of space are essential in order to develop a geometric research really « fruitful » and meaningful. In the « Plan of the investigation » at the beginning of his lecture, Riemann wrote : « As is well known, geometry presupposes as something given both the concept of space and the basic principles for constructions in space¹³ », and hence the relations between points in space.

In his lecture Riemann posed another essential « assumption » based on our perception of space, particularly on the fact that our body is an instrument of measure. Riemann writes :

« Measurement involves the superposition of the quantities to be compared ; it therefore requires a means of transporting one quantity to be used as a standard for the others. Otherwise, one can compare two quantities only when one is part of the other, and then only as to *more or less*, not as *how much*¹⁴. »

9. BOTTAZZINI and TAZZIOLI, 1995.

10. RIEMANN, 1994, p. 118. Our emphasis. Our translation.

11. RIEMANN, 1994, p. 118. Our translation.

12. RIEMANN, 1994, p. 119. Our translation.

13. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 135.

14. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 137.

In order to help intuition, one can image a 3-dimensional space where the quantity to be measured is placed. Measurement is then possible if one considers a segment with standard length (for example 1 metre long) and superposes it on the quantity ; then the dimensions of the quantity are evaluated with respect to the unit of length. This procedure is allowed only on the assumption that « lines have a length independent of their configuration, so that every line can be measured by every other¹⁵ ». In fact, if this hypothesis is not valid, the unit of length will become shorter or longer during its motion – that is what happens over an *egg*. In that case, measurement of quantities in space would not be possible ; that is to say, a « rigid body » – a body in which distances between its points are constant – would change its shape during the motion.

Therefore such a space can not be homogeneous, Bertrand Russell significantly remarked in his book *An essay on the foundations of geometry*¹⁶, and added that space would not be passive, but it would exert a well defined effect on things. Therefore, since the unit of length must be preserved, then space has necessary constant curvature – positive, negative or zero. Plane (curvature equal to zero) and spherical surface (positive constant curvature) are examples of 2-dimensional manifolds. Each manifold of constant curvature is such that any portion of it can be continuously superposed anywhere on the manifold. In his memoir, Riemann considers only manifolds with constant curvature, and compares their measure of curvature to the Gaussian definition of curvature given for curved surfaces.

The definition of the linear element (2.1) is very general and includes also manifolds whose curvature is variable from one point to another. Such manifolds are the most interesting ones from the theoretical point of view and constitute the main subject for modern differential geometry. Riemann studied manifolds with variable curvature in a memoir, published only posthumously, which answered a question posed by the Academy of Sciences in Paris about the distribution of heat in a body¹⁷. Riemann faced the following problem : « *Trouver quel doit être l'état calorifique d'un corps solide homogène indéfini pour qu'un système de couches isothermes, à un instant donné, restent isothermes après un temps quelconque, de telle sorte que la température d'un point puisse s'exprimer en fonction du temps et de deux autres variables indépendantes*¹⁸. » In the second part of the work, he shows that the original question can be reduced to establishing the necessary and sufficient conditions that allow the two manifolds to transform continuously one into the other. Then he was led to introduce the curvature tensor of a manifold, as it is actually called. Riemann proved that the problem proposed by the Academy of

15. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 140.

16. RUSSELL, 1897.

17. RIEMANN, 1861.

18. RIEMANN, 1990, p. 391.

Sciences has a solution if and only if the curvature tensor is the same for the two manifolds ; such a statement is the generalization of the Gaussian *therorema egregium*, which is valid for curved surfaces, to the case of manifolds.

But why does Riemann consider only manifolds with constant curvature in his lecture, if he knows the mathematical tools necessary for treating manifolds with any curvature ? Riemann could indeed elaborate a systematic theory including manifolds with variable curvature as well by introducing new and fruitful concepts, such as the tensor of curvature. « The restriction to the case of constant curvature » – Jeremy Gray remarked as a comment to a Riemann's memoir – « is artificial for a mathematician¹⁹ », who always tries to extend theories from particular to general cases. In my opinion, the reasons of Riemann's attitude are in his purpose : he indeed intends to contribute to foundations of geometry more than to theoretic geometry, as he claims in his lecture on many occasions. Riemann's aim is to pose the *real* « hypotheses » as foundation of geometry. « Thus arises the problem of seeking out the simplest data from which the metric relations of space can be determined²⁰. » One of these « simplest data » concerns the measurement of quantities in space ; as a consequence, space must have constant curvature.

The last part of his memoir is entitled « Applications to space » and develops a deep analysis of Euclidean space, which Riemann characterizes as a 3-dimensional flat space (with curvature equal to zero). The results and theorems of Euclidean geometry can be deduced from these hypotheses. But other geometries – the geometries on manifolds with positive or negative constant curvature – can be included as well, since they satisfy Riemann's assumptions of rigid motion. Incidentally, they are the non-Euclidean geometries which Riemann never mentioned in his lecture : the hyperbolic geometry (also called Lobachevskij-Bolyai's geometry), the elliptic geometry, and the spherical geometry (or Riemannian geometry). Non-Euclidean and Euclidean geometries are then deduced as particular cases from Riemann's theory. Therefore, after the publication of Riemann's lecture non-Euclidean geometries gained a relevant theoretic status, since they belonged to differential geometry, which was considered an important and fruitful theory by nineteenth-century mathematicians. That was important for the diffusion of non-Euclidean geometries in the academic world.

Let us consider our space, the space where we live : which kind of manifold is it ? From Riemann's hypotheses it has constant curvature. But is its curvature positive, negative or zero ? In particular, is space Euclidean or not ? Riemann tries to answer this crucial question by appealing to physics : « If one

19. GRAY, 1992, p. 38.

20. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 135.

assumes that bodies exist independently of position, then the curvature is everywhere constant, and it then follows from astronomical measurements that it cannot be different from zero²¹. » As a consequence, space is Euclidean. However, if the region of space in « the range of our telescopes » can be neglected in comparison with all space, the previous statement can not be considered as definitive. And what about infinitely small areas of space ? Riemann writes : « It is therefore quite definitely conceivable that the metric relations of space in the infinitely small do not conform to the hypotheses of [Euclidean] geometry²². » Other geometries could be valid in different regions of space, which are infinitely small or infinitely large in comparison with those usually measured by our instruments. According to his pluralistic approach, Riemann would leave Euclidean geometry if another geometry helped him more in understanding phenomena.

Riemann's ideas are very similar to those expressed by Nicolai Lobachevskij, the founder together with Janos Bolyai of non-Euclidean geometry, in conclusion of his astronomical calculations on the triangle Earth-Sun-Sirius in 1835-1838²³. Euclidean geometry is certainly a good approximation of physical space, such as it is perceived by our senses ; however, Lobachevskij noticed that Euclidean geometry could be false even in the perceptible world. Lobachevskij also showed that in hyperbolic geometry the angular defect of a triangle, which is equal to the difference between 2π and the sum of its angles, is proportional to the surface of the triangle. Such a theorem was rediscovered by Gauss²⁴ in a more general formulation, for any curved space, by using methods of differential geometry.

According to Lobachevskij, Euclidean geometry could give a false description of space ; moreover, the *real* geometry should be found from empirical data. This idea, shared by Riemann too, is strongly in contrast with Kantian philosophy. As Kant wrote in his *Transcendental aesthetics*, space is not an empirical concept, deduced by external experiences but a representation, which is necessary *a priori*. In fact, if the representation of space was a concept *a posteriori*, deduced by external experiences, the first principles of mathematics would be accidental and it would not be necessary that only one straight line passes through two points, but experience would show it every-time.

If it is true that Riemann is anti-Kantian²⁵, it is also evident that he is not a simple empiricist. His « hypothesis » (2.1) is valid for infinitely small regions ; so it is not empirical in character, since it is impossible to test it experimentally

21. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 151.

22. RIEMANN, 1854, here 1975, p. 152.

23. LOBACHEVSKIJ, 1835-1838.

24. GAUSS, 1827.

25. NOWAK, 1989.

in physical space. Erhard Scholz²⁶ defines Riemann's epistemological attitude as « dialectic » : in his elaboration of concepts and hypotheses Riemann indeed develops arguments either theoretically or empirically, and integrates them one with the other in order to give the correct conceptual ground for a real geometry of space.

Moreover, Riemann's attitude can be defined neo-Kantian in his approach to the foundations of geometry : in fact, if it is true that axioms of geometry are not *a priori*, however, the spatial structure which Riemann posed at the basis of his geometric theory by means of suitable « hypotheses » is not arbitrary and is generated from our organized experiences in space. An essential innovation in Riemann's thought, as Luciano Boi remarks, is the intrinsic conception of space, which :

« [...] consiste plutôt à comprendre les propriétés qui peuvent caractériser la structure propre à l'espace, et à les conceptualiser mathématiquement. [...] Ajoutons que la géométrie n'est plus conçue par Riemann comme la science des figures qui peuvent être construites dans l'espace, mais comme la science des différentes formes spatiales – le concept de variété exprime en fait ce caractère qualitatif de forme spatiale, et une variété est un exemple parmi d'autres de "forme spatiale" – mathématiquement concevables, et en même temps, comme la science de l'espace lui-même, c'est-à-dire de l'espace physique²⁷. »

Such a conception of space will be taken over and enriched by Edmund Husserl and Hermann Weyl, who identify regularities of space in the properties – isotropy, homogeneity, symmetry – which are posed as foundation of geometry. However, « ces régularités, c'est nous qui choisissons de les voir ». To identify such regularities as foundational characteristics of geometry is the result of an activity « de notre communauté communicante », which aims to make understandable the world where we live ; an activity which can not forget neither our perception of space nor our experience in it²⁸.

HELMHOLTZ'S « FACTS » AND TRANSFORMATION GROUPS

Hermann von Helmholtz, who was a mathematician and a physicist as well as a physician, stated ideas about geometry and its foundations in contrast with Kantian philosophy and more in accordance with Riemann's philosophy of space. His research on physiology led Helmholtz to claim that our perception

26. SCHOLZ, 1992.

27. BOI, 1992, p. 79-80.

28. BAILLY and LONGO, 2003a and 2003b.

of space has a fundamental role in the formulation of geometric axioms. « My research on the spatial intuition of visual space allowed me to investigate the origin and essence of our spatial intuitions²⁹ », Helmholtz remarked. In another work published in 1879, Helmholtz stressed the relevance of our intuition for the foundations of geometry³⁰. Here he criticized Kant's argument, according to which spatial intuition had to contain « before each possible experience » the principles expressed by the axioms of geometry. This point of view was claimed in many popular lectures, which Helmholtz held from the 70's on.

In one of them, Helmholtz³¹ shows the non-intuitive character of spatial conceptions, by imaging that on a sphere there are living beings with our logic abilities ; however, they would formulate a system of geometric axioms very different from the axioms, which could be stated by the same living beings moving on a plane or by ourselves, who are living in a 3-dimensional Euclidean space. In some subsequent writings Helmholtz is less critical towards Kantian ideas and tries to put in evidence that from the sentence « space is not a pure form of intuition », one does not necessarily deduce the statement : « Euclidean geometry is true *a priori*³². »

The empirical approach to the study of geometry and its foundations, usually called geometric empiricism, characterizes Helmholtz's celebrated paper « Über die Thatsachen, die der Geometrie zum Grunde liegen », published in the same year as Riemann's lecture³³. In his paper Helmholtz tried to prove rigorously some theorems which had been only stated in a previous paper without any proof³⁴. Helmholtz aimed to establish « which statements in geometry express factual truth and which ones are definitions or consequences of definitions³⁵ » with no empirical bases ; finally, he purposed to deduce the real foundations of geometry.

Helmholtz received the text of Riemann's lecture – not yet published – only in 1868, some months before the publication of his own paper on the foundation of geometry. Anyway, Helmholtz could directly refer to Riemann's ideas and wrote that he substantially made the same way as Riemann did in his *Habilitationsvortrag*. In reality, their points of view are very different. Riemann started from the fundamental « hypotheses » that the distance between two infinitely close points is expressed by the linear element (2.1), and that bodies can move preserving their shape. These assumptions led him to

29. HELMHOLTZ, 1868, here 1882-1895, t. II, p. 618. Our translation.

30. HELMHOLTZ, 1879.

31. HELMHOLTZ, 1870.

32. BOI, 1996 ; KRAUSE, 1878 ; RIEHL, 1904.

33. HELMHOLTZ, 1868.

34. HELMHOLTZ, 1866.

35. HELMHOLTZ, 1868, here 1882-1895, t. II, p. 618. Our translation.

consider only the manifolds with constant curvature. On the contrary Helmholtz just observes the « facts » in our physical world ; here « rigid bodies can move unlimitedly [...] without changing their shape³⁶ ». Helmholtz's axioms take in account not only spatial relations, but also the « mechanic behaviour » of a rigid body during its motion. They are the following :

(1) Space has n dimensions.

(2) A system of points moving in space exists – the « rigid body » – such that the $2n$ coordinates of each couple of points are linked by an equation independent of its motion – the distance. Such an equation must be the same for all the couples of points, which can be superposed by a movement in space.

(3) Rigid bodies can move freely in space, that is to say, their points can be placed anywhere in space ; moreover, $\frac{n(n+1)}{2}$ conditions are generally requested in order to establish the position of a rigid body.

(4) If a rigid body turns about $(n - 1)$ of its points, then after a complete rotation of 2π the body takes the initial position again (axiom of monodromy).

From these « facts » Helmholtz aimed to deduce the Riemann's original hypothesis on the linear element ; in particular, he showed that the distance between two infinitely close points – expressed by (2.1) – does not change for any movements of the body in space. Riemann's assumption appeared to Helmholtz both essential and arbitrary, since it lies at the basis of geometry and is too far from the empirical spirit of his research. From his « factual » axioms Helmholtz tried to deduce the validity of Riemann's assumption ; such a success would have shown that his theory was relevant and fruitful.

Helmholtz's paper, where only a space with three dimensions is considered, is very long and hard to read. His mathematical procedures and methods are indeed too weak and unsuitable to the study of « rigid displacements » in space. From his axioms Helmholtz proved the existence of an expression, homogeneous of the second degree in its differentials – Riemann's linear element – which « is preserved by any movement of two infinitely close and rigidly related points³⁷ ». Although his axioms (1)-(4) are claimed for finite regions and bodies, they are assumed valid in infinitesimal regions as well, without any words of explication, as Lie would have remarked. Helmholtz then proved a result valid in infinitesimal regions of space, whose consequence allowed him to « gain the starting point of Riemann's research³⁸ ». However, his deduction contains a mistake, as Lie noticed some years later³⁹.

36. HELMHOLTZ, 1868, here 1882-1895, t. II, p. 621. Our translation.

37. HELMHOLTZ, 1868, here 1882-1895, t. II, p. 637. Our translation.

38. HELMHOLTZ, 1868, here 1882-1895, t. II, p. 637. Our translation.

39. LIE, 1892a.

Lie, together with Klein, were going to create the theory *ad hoc* which make Helmholtz's formalism and calculations simpler and more understandable : the theory of transformation groups. The fundamental principles and aims of this theory were expounded in the lecture which Klein held at the beginning of the academic year 1872-1873 when he was named full professor at the university of Erlangen – it is known as *Erlanger Antrittsrede*⁴⁰. In order to apply group theory to geometry, Klein and Lie started from the empirical observation that in space there are transformations preserving the geometric properties of bodies ; for example, they preserve the properties which are independent of the position of the body. The main role is played by the transformation groups of space, which Klein introduced in a non-rigorous way : he simply requested that by composing any transformations of space, another transformation is obtained. The following conditions must be added in order to obtain a *real* transformation group :

- a) the identity transformation I exists – it is such that $I \cdot T = T \cdot I = T$ for any transformation T ;
- b) for any transformation T the inverse transformation S exists – it is such that $S \cdot T = T \cdot S = I$.

Relevant examples of transformation groups of space are : all motions of space (if a motion is a transformation acting on all space) and all rotations about a fixed point, which is a group contained in the former one. According to Klein⁴¹, this new point of view is very fruitful in geometry, since any geometric problem can be reduced to the following general question : if a manifold and a transformation group of it are given, develop the invariant theory with respect to the group.

These ideas can be successfully applied to Helmholtz's theory developed in the paper on the « factual » principles of geometry⁴². A rigid body is indeed submitted to different transformation groups – translations, rotations about a fixed point or about an axis – which preserve its essential properties. Lie reformulated Helmholtz's axioms by employing transformation groups and, in the same time, gave a clear mechanical interpretation of Helmholtz's arguments by characterizing « rigid motions » of space. In a paper entitled « Bemerkungen zu V. Helmholtz's Arbeit. Über die Thatsachen, die der Geometrie zum Grunde liegen⁴³ », Lie assumed that in a 3-dimensional space each couple of points P, Q determine an invariant of motion : their distance $d(P, Q)$. Moreover he posed the following axiom of « free mobility » : if the point P is fixed, then Q can be placed in any position X of space satisfying the condition : $d(P, X) = d(P, Q)$ – X belongs to a spherical surface with centre P and radius

40. KLEIN, 1872.

41. KLEIN, 1872.

42. HELMHOLTZ, 1868.

43. LIE, 1886.

$d(P, Q)$; if two points P, R are fixed, then Q can be placed in any position X such that : $d(P, X) = d(P, Q)$, $d(R, X) = d(R, Q)$ – X belongs to a circumference ; if three points are fixed, then all points of space are still as well. Lie was able to notice a « gap » in Helmholtz's paper, which however had no consequence on the final result. Such a gap was explained by Lie in terms of transformation groups : Helmholtz identified a finite transformation groups with the correspondent group of infinitesimal transformations. This statement is generally false, as Lie himself proved in some subsequent papers⁴⁴ by showing counterexamples. Lie pointed out : « My remarks conclusively show that Helmholtz's research contains irreparable mistakes, even if it is very interesting⁴⁵. » And in his lectures on the theory of transformation groups⁴⁶, he added that Helmholtz « did not prove » that his axioms can really characterize all rigid movements of space.

Lie's attitude is maybe too hard towards Helmholtz, who surely erred but was the first to attribute to the « rigid movement » the main role in geometry. This point of view on the foundations of geometry is shared by Klein and Lie himself. In his papers « Über die Grundlagen der Geometrie⁴⁷ », Lie characterizes the groups of rigid movements by using the factual axioms posed by Helmholtz, which he reformulates in the language of his theory of transformation groups. He proves rigorously that Helmholtz's axioms characterize Euclidean and non-Euclidean movements in space ; in other words, he finds that rigid motions can only take place in a space with constant curvature (zero, negative, or positive). In terms of transformation groups, the group of isometries (an isometry is a transformation preserving the distance between points) is the most extensive group which preserves the property of free mobility. The group of isometries selects spaces with constant curvature as the natural spaces, where the properties of « rigidity » are preserved.

In 1882 Lie visited Paris, met Poincaré, and discussed with him about the main ideas expounded in the *Programme of Erlangen*. Since 1880 Poincaré had been interested in transformation groups and related them to his studies on the theory of automorphic functions ; from 1883 to 1892 he published many works containing applications of the theory of transformation groups to functions of a complex variable, differential equations, and algebraic geometry.

In 1887 Poincaré published the paper « Les hypothèses fondamentales de la géométrie⁴⁸ », where his aim was to « énoncer toutes les hypothèses nécessaires [de la géométrie] et n'énoncer que celles-là ». And he added : « Je crois que ce problème n'est pas encore résolu et je cherche à contribuer à sa

44. LIE, 1892a, here 1927-1934, t. II, part. I, p. 478-479 ; LIE, 1893, p. 454-456.

45. LIE, 1892a, here 1927-1934, t. II, part. I, p. 479. Our translation.

46. LIE, 1893, p. 460.

47. LIE, 1892a and 1892b.

48. POINCARÉ, 1887.

*solution*⁴⁹. » By employing the theory of transformation groups and some results of projective geometry, Poincaré found the lowest number of independent hypotheses, which are at the basis of Euclidean and non-Euclidean geometries over a plane :

- (1) The plane has 2-dimensions.
- (2) The position of a figure depends on 3 conditions.
- (3) A figure can not move if two of its points are fixed.
- (4) The distance between two different points can not be zero.

The geometry deduced from the axioms (1), (2), (3) is coherent and absolutely new, Poincaré remarked ; however, some consequences of this geometry « *sont trop contraires aux habitudes de notre esprit*⁵⁰ » and that is the reason why mathematicians have never considered it.

If the following axiom is posed in addition to the previous ones (1)-(4) :

- (5) The sum of the angles of any triangle is constant,
- then only Euclidean geometry is selected.

The latter axiom has no empirical origin ; it is equivalent to the request that « similar figures exist, which are not equal ». All the results and theorems of Euclidean geometry follow from this statement, which can be judged more intuitive than the axiom (5) or more in accordance with what happens in space. However, as Lobachevskij and Riemann had already noticed, we are able to check only bounded spatial regions (and figures), while we can not say whether the criteria for similitude are valid – or not – for infinitesimal or infinitely large figures.

Therefore, if « *faire de la géométrie, c'est étudier les propriétés de nos instruments, c'est-à-dire du corps solide*⁵¹ », the allowable spaces are all manifolds with constant curvature, where rigid movement is possible. And in order to deduce the Euclidean geometry alone, another axiom is necessary which can not be checked generally by experience.

But which is the nature of geometric axioms ? On many occasions, Poincaré expressed his opinion on this point : he was contrary to Kantian judgments *a priori* (« [*les jugements synthétiques*] *s'imposeraient alors à nous avec une telle force, que nous ne pourrions concevoir la proposition contraire [...]. Il n'y aurait pas la géométrie non euclidienne*⁵² »), but he could not be in favour of empiricism (« *Si la géométrie était une science exacte, elle serait soumise à une continue revision*⁵³. »).

According to Poincaré, geometric axioms are conventions. But one must be careful, since not all conventions can be posed as foundations of geometry :

49. POINCARÉ, 1887, here 1916-1956, t. XI, p. 80.

50. POINCARÉ, 1887, here 1916-1956, t. XI, p. 82.

51. POINCARÉ, 1913, p. 40.

52. POINCARÉ, 1925, p. 65.

53. POINCARÉ, 1925, p. 66.

« [...] *notre choix, parmi toutes les conventions possibles, est guidé par des faits expérimentaux*⁵⁴. » Then experience has the fundamental role and shows us which are the most suitable conventions to be assumed⁵⁵. Therefore, it makes no sense to speak of truth or falsity of Euclidean geometry. It is simply the most « convenient » geometry for the representation of our physical world for two fundamental reasons : it is the simplest geometry and is in accordance with the experimental facts.

MANIFOLDS WITH CONSTANT CURVATURE AS REAL SPACES

At the beginning of the XIXth century, mathematicians thought that geometry describes the physical world and considered it as the first chapter of physics. It was a common opinion that Euclidean geometry is the real geometry of space ; that was another reason why non-Euclidean geometry was completely accepted by the academic world only in the last decades of the century.

In the second half of the XIXth century, non-Euclidean geometry was included in other geometric theories, which were considered relevant and fruitful, such as differential geometry, theory of transformation groups, and projective geometry. Moreover, in his « *Saggio di interpretazione della geometria non euclidea*⁵⁶ », Eugenio Beltrami proved the coherence of Lobachevskij-Bolyai geometry, by assuming the coherence of Euclidean geometry. In spite of this success, mathematicians seldom devoted themselves to studying non-Euclidean geometry. In their opinion, in fact, non-Euclidean geometry could not be applied to our physical space, whose geometric description seemed in total accordance with Euclidean geometry. Moreover, they did not know any helpful application of non-Euclidean geometry to the solutions of relevant mathematical problems. As it is shown below, however, not all mathematicians shared these ideas.

Anyway, non-Euclidean geometry posed new epistemological questions : What do geometric theories speak about ? Space where we live is one, and then just a single geometry can be regarded as its natural geometry ? Therefore, what do other geometries apply to ? Which is their deep meaning ?

In the third note to his *Programme of Erlangen*, Klein noticed the relevance of spatial intuition in the different phases of the geometric thought – from the axioms posed at the basis of geometry to geometric deduction. According to Klein, intuition is a fundamental element of geometry, and geometry is a perceptible form of abstract considerations starting from postulates of the spatial

54. POINCARÉ, 1925, p. 66.

55. NABONNAND, 2000a, 2000b.

56. BELTRAMI, 1868a.

intuition. Klein clearly explained his ideas about the choice and origin of geometric axioms in some subsequent works⁵⁷. Klein remarked that axioms appeal to our intuition, which is « something *essentially* inexact ». An axiom constitutes « the request » by means of which « exact statements » are established in « inexact intuition ». In this sense, axioms are a theoretic substratum for intuitive considerations and show a starting choice characterized by the priority of spatial intuition.

By requesting free mobility of rigid bodies, Riemann and Helmholtz had developed their geometry from the metric properties of space. Other properties of space can also be posed as foundations of geometry – for example optical properties. This is Klein's point of view, which led him to pose « projective intuition » at the basis of his geometry. According to Klein, projective geometry is the pre-eminent geometry, since it includes metric geometry ; he indeed spent many years of his life to study projective geometry and formulated a correct system of axioms for it.

In order to create different systems of axioms and, as a consequence, different geometries, mathematicians often distinguished the space of our experience from the conceptual space, where any coherent geometry can be developed, without any care about its truth or falsity. This point of view was shared by many mathematicians and philosophers of mathematics. Husserl⁵⁸ expresses it very clearly, when he emphasizes that geometric space can be built conceptually by means of « ideality », that is to say by employing mental processes from particular to general cases ; these processes are based on experience, but then overcome it and arrive at conceiving geometric space – a space only « thinkable », as Husserl⁵⁹ wrote – as a space where any coherent mathematical theory can be developed. On the contrary, intuitive space is based on our perception of space, which is common to all people. According to Husserl, the idealization processes do not occur *on* the intuitive world but *in* it ; however, the representation of the geometric space is « only conceptual, and can not be transformed into the corresponding intuition ». The intuitive and geometric space are then completely distinguished, even if the geometric space is deeply rooted in intuition.

In an analogous way, Poincaré distinguishes the representative or sensible space, which is the description of our representations and of our sensations, from the geometric space, as Poincaré called it. Poincaré wondered : « *Quelles sont d'abord les propriétés de l'espace proprement dit ? je veux dire de celui qui fait l'objet de la géométrie et que j'appellerai l'espace géométrique*⁶⁰. »

57. BOTTAZZINI, 2000 and 2002 ; AVELLONE, BRIGAGLIA and ZAPPULLA, 2002.

58. HUSSERL, 1962.

59. HUSSERL, 1983.

60. POINCARÉ, 1925, p. 69.

According to Poincaré, the geometric space is a physical space with « idealized » properties, which extend the properties of the real space ; the geometric space is then continuous, unbounded, homogeneous and isotropic. Since space itself is « amorphous » (« *il est une forme flasque, sans rigidité, qui peut s'appliquer à tout*⁶¹ »), it has no particular property. Properties are then attributed to space by our active knowledge and practice in space – we can consider metric relations (metric geometry), or visual properties (projective geometry), or the shape of objects (topology) as the invariants of space. As Poincaré noticed, geometry is the study of properties attributed to instruments of measurement. But instruments are not perfect ; so geometry is the study of properties, which instruments of measurement would have, if they were perfect. He wrote :

*« La géométrie est l'étude d'un ensemble de lois peu différentes de celles auxquelles obéissent réellement nos instruments, mais beaucoup plus simples, de lois qui ne régissent effectivement aucun objet naturel, mais qui sont concevables pour l'esprit. En ce sens la géométrie est une convention*⁶². »

In line with Klein's ideas, Poincaré thinks that geometry must study a particular transformation group and that the concept of group « pre-exists » in our mind « at least in power ». But there are many groups, which we can conceive of ; then, which group do we choose as the foundation of geometry ? and why ? Poincaré writes : « *L'expérience nous guide dans ce choix qu'elle ne nous impose pas ; elle nous fait reconnaître non quelle est la géométrie la plus vraie, mais quelle est la plus commode*⁶³. »

Poincaré's words are in contrast with the ideas of Riemann, Helmholtz, Klein – and others – about the role of experience in the formulation of geometric axioms and, more generally, in cognitive processes. These three had attributed to our experience the fundamental role in knowing the world, while Poincaré seems to reduce it to a simple « *convention* ». In reality, on many occasions Poincaré attributes great relevance to our experience and to our interactions with the surrounding space when searching for the axioms that may serve as the foundation of geometry. Poincaré remarks : « *Le sous-groupe rotatif attire d'abord notre attention parce qu'il conserve certaines sensations*⁶⁴. » As Philippe Nabonnand points out in his paper on the psychophysiological genesis of geometry, Poincaré thinks that experience has a double role : at the beginning, a « *psycho-physiologic* » phase occurs – when experience originates « *notre capacité innée à former des groupes* » – and

61. POINCARÉ, 1913, p. 40.

62. POINCARÉ, 1913, p. 40-41.

63. POINCARÉ, 1925, p. 93-94.

64. POINCARÉ, 1899, p. 38.

successively experience has « *un rôle fondamental de guide pour le choix des conventions les plus commodes*⁶⁵ ».

According to Poincaré, the « psycho-physiologic » experience forces one to pose axioms as the foundation of geometry, which lead to consider the geometries on Riemannian manifolds with constant curvature – that is to say, the Euclidean and non-Euclidean geometries. One needs to introduce new hypotheses deduced from experience in order to select the unique group, and thereby the unique geometry of space, thus choosing between Euclidean geometry, hyperbolic geometry, elliptic geometry or spherical geometry. Poincaré formulates the request which the group should satisfy in these words : « *La proposition qui en tiendra lieu sera l'affirmation de l'existence d'un sous-groupe invariant dont tous les déplacements sont échangeables et qui est formé de toutes les translations*⁶⁶. » In such a way, he found the Euclidean group.

This approach aims at defining an objective property as an invariant of a certain transformation group, which on its part is determined by our sensations due to observations and measurements *about* and *in* the world. It is shared by many mathematicians. Among them Enriques, who criticizes Poincaré's ideas on conventionalism of science, and holds that scientific concepts give an approximate description of reality in which it is necessary to distinguish the invariants from the many other variables. Enriques⁶⁷ does not describe reality as a simple suite of sensations but as a set of sensations connecting with « willingly organized » conditions. Then reality is not a pure empirical factor, but something due to the rational coordinative activity : an invariant of the correspondence between « volitions » and « sensations ». The role of experience is fundamental in the description of reality. Enriques wrote that the reality of objects and empirical factors consist in the fact that they do not change if submitted to tests which organize them in different ways with respect to subject's will ; in other words, they are mathematical and psychological invariants⁶⁸.

The relevance of the theory of transformation groups in geometry will be pointed out even more powerfully by Weyl, who considers different invariant groups according to the structure of space that is to be preserved. Weyl writes : « *Nous avons constaté qu'objectivité signifie invariance pour le groupe des automorphismes*⁶⁹. » Anyway, reality does not clearly show which group of automorphism has to be considered for the investigation at issue. As Weyl and Enriques claim, objectivity is a cultural fact and changes in time : it is a historical datum.

65. NABONNAND, 2000a, p. 14.

66. POINCARÉ, 1899, p. 34.

67. ENRIQUES, 1938.

68. ENRIQUES, 1938, p. 87.

69. WEYL, 1964, p. 130.

Automorphisms preserve the structure of the empty space (the geometric space) as a vectorial space. But if *tests* are made, then instruments of measurement – which can be considered as rigid bodies – are requested to preserve their shape during their motion in the physical space : therefore, rigid movement selects the group of isometries. For example, affinities – automorphisms of the plane – are constituted by rotations, similitudes and translations. Weyl claims that the group of affinities describes the geometric plane ; the description of the physical plane is given by the proper subgroup of isometries (or rigid displacements). Weyl points out : « *Il n'y a pas lieu d'être surpris, comme le fut Kant, que ce groupe d'automorphismes géométriques soit plus large que celui des automorphismes physiques et comprenne les homothéties*⁷⁰. »

Let us notice that Weyl's geometric space is deeply different from that of Husserl, where all conceivable theories live. In fact Weyl assumes that the geometric structure of space is preserved. In the physical space – which in Weyl's opinion is the space of our experience, the phenomenological space – free mobility of figures is requested ; as a consequence, only the Euclidean and non-Euclidean geometries are possible.

This point of view, which is already contained in some ideas of the XIXth century mathematicians, even if it was expressed by using different words and formalism, is expounded very clearly by Weyl. Riemann, Helmholtz, Poincaré, and others seemed to realize that the conceptual space – where the manifolds with any curvature can be conceived abstractly – is different from the physical space – where the instruments of measurement select the manifolds with constant curvature. Then all the spaces with constant curvature become possible *real* spaces. But how can one choose among them ? on which bases ? The choice must be based on empirical facts.

It is no accident that in the second half of the XIXth century, just after the publication of Riemann's lecture, many mathematicians tried to extend classical theories of mathematical physics – such as mechanics, potential theory, and theory of elasticity – to manifolds with constant curvature. In Germany Rudolph Lipschitz, Ernst Schering and Wilhelm Killing published papers on potential theory, whose results and fundamental relations are extended to curved spaces, such as Kepler's laws, Hamilton-Jacobi method, and so on⁷¹. In Italy Eugenio Beltrami⁷² deduced some relevant theorems in potential theory, one of them concerning the extension of the Laplace equation to a Riemannian manifold, actually known as the Laplace-Beltrami equation. Alberto Tonelli, Ernesto Cesàro, Ernesto Padova, and Carlo Somigliana pursued Beltrami's

70. WEYL, 1964, p. 128.

71. TAZZIOLI, 1994a.

72. BELTRAMI, 1868b.

research and published interesting papers on mathematical physics in curved spaces⁷³.

As a natural development of such studies, presupposing only existence in an n -dimensional space with constant curvature, Killing established the transformation between a coordinate system moving with a body and another coordinate system thought to be fixed in space. The transformation laws found by Killing are surprising : they indeed generalize some relations, deduced by Hendrik Antoon Lorentz in 1904⁷⁴ and usually known as Lorentz transformations, which play a fundamental role in the theory of special relativity. Woldemar Voigt⁷⁵ was the first physicist to deduce the Lorentz transformations by imposing the invariance of Maxwell's equations. It is then relevant that in a purely geometric context, with no physical hypothesis, Killing established for a mechanical system the transformations of coordinates which later became the basis of the special theory of relativity⁷⁶.

Beltrami's contribution to mathematical physics and, particularly, to the theory of elasticity in curved spaces, is also very important. As many other mathematicians and physicists of the XIXth century, Beltrami imaged that an ether filled the whole universe and was able to propagate physical phenomena in space by means of its strains. If a physical force exists, then particles of the ether are forced to transmit the force from one point of space to the other by contact – by following the Newtonian principle of action and reaction. In such a way, physical forces are included in a mechanistic schema which allows to overcome the concept of action at-a-distance. Since the ethereal medium is supposed to be elastic, homogeneous and isotropic, then the usual laws of the theory of elasticity can be applied to it.

But is our universe, filled with ether, flat ? or can it be curved ? Beltrami does not answer this question and shows a pluralistic attitude, such as Riemann and Lobachevskij had done. In a paper from 1882⁷⁷ Beltrami extends the equations of elastic equilibrium to spaces with constant curvature : he shows that in such spaces the ether propagates physical phenomena by means of its strains, which « can not occur in Euclidean space ». However, Beltrami does not choose the curvature of space or the ether model in a definitive way : he tries to explain electric and magnetic forces as well as spherical waves mechanically by means of an ether filling a space with positive, negative or null curvature according to the phenomenon at issue.

Also Kingdon Clifford – according to Weyl « a solitary echo to Riemann's ideas » – asserts very clearly that space is able to transmit physical forces by

73. TAZZIOLI, 1993.

74. LORENTZ, 1904.

75. VOIGT, 1887.

76. TAZZIOLI, 1994a and 2000.

77. BELTRAMI, 1882.

changing its curvature. In Clifford's opinion, physical forces and geometry of space are very closely connected :

« There are three kinds of variation in the curvature of space which we ought to consider as within the range of possibilities :

« (1) Our space is perhaps really possessed of a curvature varying from point to point, which we fail to appreciate because we are acquainted with only a small portion of space, or because we disguise its small variations under changes in our physical condition which we do not connect with our change of position [...].

« (2) Our space may be really same (of equal curvature), but its degree of curvature may change as a whole with the time. In this way our geometry based on the sameness of space would still holds good for all parts of space, but the change of curvature might produce in space a succession of apparent physical changes.

« (3) We may conceive our space to have everywhere a nearly uniform curvature, but that slight variations of the curvature may occur from point to point, and themselves vary with the time⁷⁸. »

These words seem to point out the possibility that our universe may follow different geometries. Our experience is indeed confined to small portions of space, whose curvature is constant (or nearly constant) since free mobility of rigid bodies is experienced. But in infinitesimal or infinitely large regions of space different geometries could occur, as Riemann noticed in his lecture. The general theory of relativity would have shown that in space propagation of phenomena is linked to a variation of curvature, as Riemann, Clifford and Beltrami suggested from geometric considerations alone. In fact, they predicted that space is the real responsible in propagating forces and its curvature depends on the physical phenomenon that takes place.

CONCLUSIONS

In the second half of the XIXth century, as we have seen, Riemann, Beltrami, Clifford and others believed that physical phenomena structure the geometry of space – its metric and its curvature. Physics and geometry are then closely linked and the space of our active experience has a fundamental role in the foundations of mathematics.

During the last decades of the XIXth century, some Italian mathematicians tried to found the proper concept of number on geometry, by using results and methods of projective geometry. In his paper « Sui fondamenti della geometria

78. CLIFFORD, 1885, p. 202.

proiettiva », published in 1881, De Paolis made rigorous some ideas due to Christian von Staudt, who had defined the coordinates of a point on a straight line (and then the real numbers), by using only elementary geometrical constructions – such a process is known as coordinatization.

De Paolis⁷⁹ shows that rational and irrational numbers can be geometrically constructed by starting from a straight line if the principle of completeness is satisfied – that is to say, the straight line has no hole. Moreover, in order to define the concept of limit of segments, in a similar way as Georg Cantor did for the limit of rational numbers, he requested that any segment is preserved during its motion⁸⁰. For justifying this axiom, De Paolis reported the following words of the French mathematician Jules Hoüel : « *Il serait difficile de trouver une seule démonstration d'une proposition fondamentale de géométrie, dans laquelle n'entre pas l'idée de mouvement géométrique plus ou moins déguisée*⁸¹. » By supposing that any segment moves rigidly in space, De Paolis deduced the existence of irrational segments⁸² ; as a consequence, he could introduce irrational numbers in a purely geometric way.

De Paolis's paper is fairly rigorous, even if the treatment of the subject is sometimes unclear and the axioms are hidden in the text. About ten years later Gino Fano, one of Corrado Segre's students, developed a more abstract approach to geometry. In his work on the foundations of projective geometry, Fano⁸³ followed De Paolis's paper step by step but made it more rigorous and axiomatic. Fano, who was also influenced by Giuseppe Peano, introduced geometric quantities but did not define any of them. For example, a manifold is made by points, he wrote ; nevertheless, in his opinion « point » is just a name, which is « independent of its proper nature ». Moreover, his geometric postulates never refer to psychological or perceptive origins. Fano also proved the independence of his system of axioms by creating geometric models, in a similar way as Hilbert would do in his *Grundlagen der Geometrie*⁸⁴.

Other Italian mathematicians, in particular Mario Pieri, published a sequence of works on the foundations of geometry which inspired Hilbert even if their starting points were very different. Pieri, who was a student of De Paolis in Pisa and of Segre and Peano in Turin, wrote one the deepest works of the Italian geometric school⁸⁵. He introduced his axioms and methods of projective geometry with no reference to intuition or psychology ; he seems to come

79. DE PAOLIS, 1881.

80. AVELLONE, BRIGAGLIA and ZAPPULLA, 2002.

81. DE PAOLIS, 1881, p. 490.

82. More details about De Paolis's proof – and about his work in general – can be found in AVELLONE, BRIGAGLIA and ZAPPULLA, 2002.

83. FANO, 1892.

84. HILBERT, 1899.

85. PIERI, 1898.

very near to cutting the strong link between geometry and empiricism. This attitude would lead geometry to its complete formalization in Hilbert's work⁸⁶.

Another Italian mathematician who worked intensely on the foundations of geometry was Giuseppe Veronese. He thought that geometry is the science of space and that it is a « mixed science », both « empirical » and « formal ». In fact, experience and pure intuition are both fundamental for posing the correct axioms at the basis of geometry and to deduce geometrical concepts from our active observation of space.

His celebrated treatise on the foundations of geometry⁸⁷ is confused and very difficult to read. Here Veronese introduced a long series of « empirical remarks », in order to answer the question : « What is the *continuum* ? » The author claimed :

« This is a word whose meaning we realize, without any mathematical definition [...]. We know *by intuition* the continuum in its simplest form, since it is the common characteristic of many concrete things, such as for example the *time* and the *position* occupied by an object [in space]⁸⁸. »

Such an attitude was very different from the point of view expressed by Georg Cantor and Richard Dedekind on the same subject. « The continuity of space is an arbitrary assumption », Cantor wrote to Dedekind in April 15th, 1882 ; then it must be considered an axiom. By means of some assumptions deduced from empirical observations, Veronese succeeded in defining the real numbers from the points of a segment in a purely abstract way.

Veronese also introduced infinite and infinitesimal segments by considering a segment AB – A being the origin, and AB the unit of length – and a sequence of consecutive segments with length AB – the totality is called a field. By referring to a metaphysical, rather than a mathematical, « principle of the continuity of thought », Veronese supposed that an element outside the field always exists, say C . Then he defined AC an actual infinite with respect to AB and AB an actual infinitesimal with respect to AC . It is important to notice that in this geometry the principle of Archimedes – if $AB > CD$, then an integer n exists, such that $n CD > AB$ – is not valid ; in fact the unit AB can never overcome the actual infinite AC .

Veronese justified his infinitesimal and infinite on the basis of experience. He noticed that it is our experience, which leads us to search the indivisible segment on a straight line. An atomistic view which is, in Veronese's opinion, in accordance with our empirical knowledge of space. In fact we cannot divide

86. More details about the Italian geometric school can be found in AVELLONE, BRIGAGLIA and ZAPPULLA, 2002, and in BOTTAZZINI, 2000 and 2001.

87. VERONESE, 1891.

88. VERONESE, 1891, p. 45. Our translation.

a segment into an infinite number of parts empirically, but must stop after many – but not infinite – steps. When we stop, we do not get a point but an actual infinitesimal. For a point, Veronese remarked, the usual properties of a segment are not valid any more, while any actual infinitesimal preserves such properties. As a consequence, the intuitive continuum is made by many actual infinitesimals joining two points, and not simply by points.

Infinite and infinitesimal segments introduced by Veronese find an immediate arithmetical interpretation ; anyway, Veronese's numbers differ a lot from the transfinite and infinitesimal numbers defined by Cantor, as Veronese himself remarked. He was proud to point out that his numbers satisfy the commutative property while Cantor's numbers do not⁸⁹.

In line with Cantor and Dedekind, Hilbert thought that continuity must be a postulate, on a par with the other properties of space, and posed the axiom of continuity at the basis of geometry. In his *Grundlagen der Geometrie*, Hilbert considered different systems of axioms leading to many geometries (Euclidean, non-Euclidean, Archimedean, and so on).

In his review of Hilbert's *Grundlagen* Poincaré⁹⁰ judged the formalistic approach interesting and fruitful, since it includes so many geometries and numbers. (According to Poincaré, who considered arithmetic as a consequence of geometry and not the contrary, many geometries lead to the introduction of many numbers ; therefore, Hilbert's system is very rich of numbers.) Anyway he could not share Hilbert's point of view *tout court*. Poincaré pointed out :

« Les raisonnements doivent pouvoir, d'après lui [Hilbert], se ramener à des règles purement mécaniques, et il suffit, pour faire la Géométrie, d'appliquer servilement ces règles aux axiomes, sans savoir ce qu'ils veulent dire. On pourra ainsi construire toute la Géométrie, je ne dirai pas précisément sans y rien comprendre, puisqu'on saisira l'enchaînement logique des propositions, mais tout au moins sans y rien voir. On pourrait confier les axiomes à une machine à raisonner, par exemple au piano raisonneur de Stanley Jevons, et l'on en verrait sortir toute la Géométrie⁹¹. »

Intuition and experience seemed to have no role in Hilbert's programme and, Poincaré went on, *« le point de vue logique paraît seul l'intéresser⁹² »*.

« Son œuvre est donc incomplète », Poincaré commented severely, even if his approach surely represents a *« progrès considérable, comparable à ceux que l'on devait à Lobatchevski, à Riemann, à Helmholtz et à Lie⁹³ »*. Hilbert's

89. More details about Veronese and his work are in CANTÙ, 1999.

90. POINCARÉ, 1902.

91. POINCARÉ, 1902, here 1916-1956, t. XI, p. 95.

92. POINCARÉ, 1902, here 1916-1956, t. XI, p. 112.

93. POINCARÉ, 1902, here 1916-1956, t. XI, p. 113.

geometries are simply deduced by replacing some axioms with others ; so, are they only logical games ? Poincaré could not accept that geometry was reduced to a sequence of logical inferences, of axioms and theorems with no meaning. Therefore, he included Hilbert's geometries in a meaningful theory – the theory of transformation groups – and showed that Hilbert's theory was not lacking of sense. « *On verrait que chacune de ses géométries est encore l'étude d'un groupe*⁹⁴ », Poincaré was proud to remark. His re-interpretation of Hilbert's geometry was then successfully concluded.

Rossana TAZZIOLI*
(november 2001).

94. POINCARÉ, 1902, here 1916-1956, t. XI, p. 112.

* I thank my colleagues and friends Aldo Brigaglia, Jens Høyrup, Carmelo Mammana, Gino Micale for their suggestions and advises, which allowed me to improve the first version of the paper. In particular I thank Giuseppe Longo, who encouraged me to write this paper and discussed with me many details of it.

LIST OF REFERENCES

- AVELLONE (Maurizio), BRIGAGLIA (Aldo) and ZAPPULLA (Carmela), 2002, « The foundations of projective geometry in Italy from De Paolis to Pieri », *Archive for History of Exact Sciences*, t. LVI, p. 363-425.
- BAILLY (François) and LONGO (Giuseppe), 2003a, « Espace, temps et cognition. À partir des mathématiques et des sciences de la nature », *Revue de synthèse*, 5^e sér., t. CXXIV, année 2003, p. 61-118.
- BAILLY (F.) and LONGO (G.), 2003b, « Incomplétude et incertitude en mathématiques et en physique », in a volume in memory of Gilles Châtelet, Paris, to appear.
- BELTRAMI (Eugenio), 1868a, « Saggio di interpretazione della geometria non euclidea », *Giornale di Matematiche*, t. VI, p. 284-312, repr. in BELTRAMI, 1902-1920, t. I, p. 374-405.
- BELTRAMI (E.), 1868b, « Sulla teorica generale dei parametri differenziali », *Memorie dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*, ser. 2, t. VIII, p. 551-590, repr. in BELTRAMI, 1902-1920, t. II, p. 74-118.
- BELTRAMI (E.), 1882, « Sulle equazioni generali dell'elasticità », *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, ser. 2, t. X, p. 188-211, repr. in BELTRAMI, 1902-1920, t. III, p. 383-407.
- BELTRAMI (E.), 1902-1920, *Opere matematiche*, ed. Facoltà di scienze della Reale Università di Roma, Milano, Hoepli, 4 t.
- BOI (Luciano), 1992, « L'espace : concept abstrait et/ou physique. La géométrie entre formalisation mathématique et étude de la nature », in BOI, FLAMENT and SALANSKIS, ed., 1992, p. 65-90.
- BOI (L.), 1996, « Les géométries non euclidiennes, le problème philosophique de l'espace et la conception transcendantale. Helmholtz et Kant, les néo-kantiens, Einstein, Poincaré et Mach », *Kant Studien*, t. LXXXVII, p. 257-289.
- BOI (Luciano), FLAMENT (Dominique) and SALANSKIS (Jean-Michel), ed., 1992, *1830-1930. A century of geometry*, Berlin, Springer.
- BOTTAZZINI (Umberto), 2000, « I geometri italiani e i *Grundlagen der Geometrie* di Hilbert », in *Atti del XVI congresso dell'Unione matematica italiana*, Napoli, 13-18 settembre 1999, Bologna.
- BOTTAZZINI (U.), 2001, « I geometri italiani e il problema dei fondamenti (1889-1899) », *Bollettino Unione Matematica Italiana*, spec. issue « La Matematica nella società e nella cultura », ser. 7, t. IV-A, p. 281-329.
- BOTTAZZINI (Umberto) and TAZZIOLI (Rossana), 1995, « *Naturphilosophie* and its role in Riemann's mathematics », *Revue d'histoire des mathématiques*, t. I, p. 3-38.
- CANTÙ (Paola), 1999, *Giuseppe Veronese e i fondamenti della geometria*, Milano, Unicopli.

- CLIFFORD (William Kingdon), 1885, *The Common Sense of the exact sciences*, ed. Karl PEARSON, London.
- DE PAOLIS (Riccardo), 1881, « Sui fondamenti della geometria proiettiva », in *Atti della Reale Accademia dei Lincei*, ser. 3, t. IX, p. 489-503.
- ENRIQUES (Federigo), 1938, *La Théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*, Paris, Hermann.
- FANO (Gino), 1892, « Sui postulati fondamentali della geometria proiettiva in uno spazio lineare a un numero qualunque di dimensioni », *Giornale di Matematiche*, t. XXX, p. 106-132.
- GAUSS (Carl Friedrich), 1827, « Disquisitiones generales circa superficies curvas », *Commentationes Societatis Regiae Scientiarum Gottingensis recentiores*, t. VI, repr. in GAUSS, 1863-1933, t. IV, p. 217-258.
- GAUSS (C. F.) 1863-1933, *Werke*, Königliche Gesellschaft der Wissenschaften Göttingen ed., Göttingen, 12 t.
- GRAY (Jeremy), 1992, « Poincaré and Klein. Groups and geometries », in BOI, FLAMENT and SALANSKIS, ed., 1992, p. 35-44.
- HELMHOLTZ (Hermann von), 1866, « Über die thatsächlichen Grundlagen der Geometrie », *Verhandlungen des Naturhistorisch-Medicinischen Vereins zu Heidelberg*, t. IV, p. 197-202, repr. in HELMHOLTZ, 1882-1895, t. II, p. 610-616.
- HELMHOLTZ (H. von), 1868, « Über die Thatsachen, die der Geometrie zum Grunde liegen », *Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, t. XIV, p. 193-221, repr. in HELMHOLTZ, 1882-1895, t. II, p. 618-639.
- HELMHOLTZ (H. von), 1870, « Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome », in HELMHOLTZ, 1884, t. II, p. 1-31.
- HELMHOLTZ (H. von), 1879, *Die Thatsachen in der Wahrnehmung*, Berlin, Hirschwald, repr. in HELMHOLTZ, 1884, t. II, p. 217-251.
- HELMHOLTZ (H. von), 1882-1895, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Leipzig, Barth, 3 t.
- HELMHOLTZ (H. von), 1884, *Vorträge und Reden*, Braunschweig, Vieweg, 2 t.
- HILBERT (David), 1899, *Grundlagen der Geometrie*, Göttingen, Teubner.
- HUSSERL (Edmund), 1962, *L'Origine de la géométrie*, Paris, Presses universitaires de France.
- HUSSERL (E.), 1983, « Philosophische Versuche über den Raum », *Husserliana*, spec. issue « Studien zur Arithmetik und Geometrie », t. XXI, p. 262-310.
- KLEIN (Felix), 1871, « Über die sogenannte nicht-euklidische Geometrie », *Mathematische Annalen*, t. IV, p. 573-625, repr. in KLEIN, 1921-1923, t. I, p. 245-305.
- KLEIN (Felix), 1872, *Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen. Programm zum Eintritt in die philosophische Fakultät und den Senat der K. Friedrich-Alexanders-Universität zu Erlangen*, Erlangen, Deichert.
- KLEIN (F.), 1873, « Über die sogenannte nicht-euklidische Geometrie (Zweite Aufsatz) », *Mathematische Annalen*, t. VI, p. 112-145, repr. in KLEIN, 1921-1923, t. I, p. 311-343.
- KLEIN (F.), 1921-1923, *Gesammelte Mathematische Abhandlungen*, ed. R. FRICKE, Berlin, Springer, 3 t.
- KRAUSE (Albrecht), 1878, *Kant und Helmholtz über den Ursprung und die Bedeutung der Raumschauung und der geometrischen Axiome*, Lahr, Moritz Schauenburg.
- LIE (Sophus), 1886, « Bemerkungen zu v. Helmholtz's Arbeit. Über die Tatsachen, die der Geometrie zu Grunde liegen », *Berichte über die Verhandlungen der*

- Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig*, 1887, p. 337-342, repr. in LIE, 1927-1934, t. II, part. I, p. 374-379.
- LIE (S.), 1890a, « Über die Grundlagen der Geometrie. I. – Abhandlung », *Berichte über die Verhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig*, p. 284-321, repr. in LIE, 1927-1934, t. II, part. I, p. 380-413.
- LIE (S.), 1890b, « Über die Grundlagen der Geometrie. II. – Abhandlung », *Berichte über die Verhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig*, 1891, p. 355-418, repr. in LIE, 1927-1934, t. II, part. I, p. 414-468.
- LIE (S.), 1892a, « Sur les fondements de la géométrie », *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences de Paris*, 114, p. 461-463, repr. in LIE, 1927-1934, t. II, part. I, p. 477-479.
- LIE (S.), 1892b, « Bemerkungen zu neueren Untersuchungen über die Grundlagen der Geometrie », *Berichte über die Verhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig*, p. 106-114, repr. in LIE, 1927-1934, t. II, part. I, p. 469-476.
- LIE (S.), 1893, *Theorie der Transformationsgruppe*, ed. Friedrich ENGEL, Leipzig, Teubner, t. III.
- LIE (S.), 1927-1934, *Gesammelte Abhandlungen*, Leipzig, Teubner, 6 vol.
- LOBACHEVSKIJ (Nikolaij), 1835-1838, *Novye naala geometrij s polnoj teoriej paralel'nyh* ; here repr. *New principles of geometry with complete theory of parallels*, Austin, 1897, t. X.
- LONGO (Giuseppe), 2001a, « The reasonable effectiveness of mathematics and its cognitive roots », in BOI (Luciano), ed., *New interactions of mathematics with natural sciences and humanities*, Berlin-New York, Springer, to appear.
- LONGO (G.), 2001b, « Space and time in the foundations of mathematics, or some challenges in the interactions with other sciences », invited lecture, *First AMS/SMF meeting*, Lyon, July 2001 ; see : <<http://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>>
- LORENTZ (Hendrik Antoon), 1904, « Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of the light », *Koniglijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Section of Sciences. Proceedings*, t. VI, p. 809-831.
- NABONNAND (Philippe), 2000a, « La genèse psychophysiologique de la géométrie selon Poincaré », in FLAMENT (Dominique), *Histoires de géométries*. Textes du séminaire de l'année 2000, Paris, Édition de la Maison des sciences de l'homme, p. 12-28.
- NABONNAND (P.), 2000b, « La polémique entre Poincaré et Russell au sujet du statut des axiomes de la géométrie », *Revue d'histoire des mathématiques*, t. VI, p. 219-269.
- NOWAK (Gregory), 1989, « Riemann's *Habilitationsvortrag* and the Synthetic *A Priori* Status », in ROWE (David) and MC CLEARY (John), eds., *The History of Modern Mathematics*, New York, NY, Academic Press, t. II, p. 17-46.
- PIERI (Mario), 1898, « I principii della geometria di posizione composti in sistema logico-deduttivo », *Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino*, ser. 2, t. XLVIII, p. 1-62.
- POINCARÉ (Henri), 1887, « Les hypothèses fondamentales de la géométrie », *Bulletin de la Société mathématique de France*, t. XV, p. 203-216, repr. in POINCARÉ, 1916-1956, t. XI, p. 79-91.
- POINCARÉ (H.), 1899, « On the foundation of geometry », *Monist*, ser. 9, t. I, p. 1-43.

- POINCARÉ (H.), 1902, « Les fondements de la géométrie », *Bulletin des sciences mathématiques*, ser. 2, t. XXVI, p. 249-272 repr. in POINCARÉ, 1916-1956, t. XI, p. 92-113.
- POINCARÉ (H.), 1913, *Dernières pensées*, Paris, Flammarion.
- POINCARÉ (H.), 1916-1956, *Œuvres*, Paris, Gauthier-Villars, 11 t.
- POINCARÉ (H.), 1925, *La Science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion.
- RIEHL (Alois), 1904, *Hermann von Helmholtz in seinem Verhältnis zu Kant*, Berlin, Reuther & Reichard.
- RIEMANN (Bernhard), 1854, *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen, Habilitationsvortrag*, Göttingen, repr. in RIEMANN, 1990, p. 304-319. All page references are to the english translation, *A comprehensive introduction to differential geometry*, by Michael SPIVAK, Berkeley, Publish or perish, 1975, t. III, p. 135-153.
- RIEMANN (B.), 1861, « Commentatio mathematica, qua respondere tentatur quaestioni ab Ill.ma Academia Parisiense propositae : "Trouver quel doit être l'état calorifique d'un corps solide homogène indéfini pour qu'un système de courbes isothermes, à un instant donné, restent isothermes après un temps quelconque, de telle sorte que la température d'un point puisse s'exprimer en fonction du temps et de deux autre variables indépendantes" », in RIEMANN, 1990, p. 423-436.
- RIEMANN (B.), 1876, « Fragmente philosophischen Inhalts », in RIEMANN, 1990, p. 507-538.
- RIEMANN (B.), 1990, *Gesammelte mathematische Werke, wissenschaftlicher Nachlass und Nachträge*, 1st ed. Leipzig, Teubner, 1876, here ed. by Raghavan NARASIMHAN, Leipzig/Berlin, Teubner/Springer.
- RIEMANN (B.), 1994, *Sulle ipotesi che stanno alla base della geometria e altri scritti scientifici e filosofici*, ed. by R. PETTOELLO, Torino, Bollati Boringhieri.
- RUSSELL (Bertrand), 1897, *An essay on the foundations of geometry*, Cambridge, Cambridge University Press, repr. New York, NY, Dover, 1956.
- SCHOLZ (Erhard), 1992, « Riemann's vision of a new approach to geometry », in BOI, FLAMENT and SALANSKIS, ed., 1992, p. 22-34.
- TAZZIOLI (Rossana), 1993, « Ether and theory of elasticity in Beltrami's work », *Archive for History of Exact Sciences*, t. XLVI, p. 1-37.
- TAZZIOLI (R.), 1994a, « Rudolf Lipschitz's work on differential geometry and mechanics », in KNOBLOCH (Eberhard) and ROWE (David), eds., *The History of Modern Mathematics*, New York, NY, Academic Press, t. III, p. 113-137.
- TAZZIOLI (R.), 1994b, « Il problema di Riemann-Helmholtz-Lie. "Ipotesi", "fatti" e "gruppi di trasformazione" », in *Seminari di geometria dell'Università di Bologna* (1991-1993), Bologna, p. 249-270.
- TAZZIOLI (R.), 2000, *Beltrami e i matematici « relativisti ». La meccanica in spazi curvi nella seconda metà dell'Ottocento*, Bologna, Pitagora (Quaderni dell'Unione Matematica Italiana, 47).
- TAZZIOLI (R.), 2002, « Riemann. Le géomètre de la nature », *Pour la science* (Les Génies de la science), Paris, août-nov.
- VERONESE (Giuseppe), 1891, *Fondamenti di geometria a più dimensioni e a più specie di unità rettilinee, esposti in forma elementare*, Padova, Tipografia del Seminario.
- VOIGT (Wodemar), 1887, « Über das Doppler'sche Princip », *Nachrichten von der Königlischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, p. 44-51.

WEYL (Hermann), 1952, *Space, time, matter*, 1st ed. Berlin, 1918, here transl. by Henry L. BROSE, New York, NY, Dover.

WEYL (H.), 1964, *Symétrie et mathématique moderne*, 1st ed. Princeton, Princeton University Press, 1952, here Paris, Flammarion.

TRACES OF A COMPUTATIONAL MIND

FROM WAX TABLET TO TURING MACHINE

Massimiliano Lorenzo CAPPUCCIO

RÉSUMÉ : L'image de l'écriture est singulièrement fréquente dans des explications cognitivistes du fonctionnement de l'esprit, non seulement comme métaphore mais également comme paradigme conceptuel : la machine de Turing, en particulier, montre un isomorphisme structural complet avec l'utilisation de l'écriture alphabétique. La machine de Turing effectue exactement les mêmes opérations effectuées par un homme écrivant avec le stylo et le papier et cela dépend de deux raisons : 1. il a été conçu dans l'image et la similarité de la pratique concrète humaine de l'écriture ; 2. c'est le produit typique de la rationalité occidentale, dont le développement n'a été rendu possible que par les caractères spécifiques du traitement alphabétique de l'information. Ces aspects sont utiles pour comprendre la raison pour laquelle l'esprit a commencé à être dépeint comme machine d'écriture au moment même où l'alphabet a commencé à se diffuser : une recherche généalogique montrera comment, dans des traités de mnémotechniques et dans la métaphysique de Platon et d'Aristote, nous pouvons trouver la toute première base de chaque modèle logico-symbolique de l'esprit.

MOTS-CLÉS : machine de Turing, alphabet, cognitivisme, Platon, Aristote, généalogie, pratique, esprit.

ABSTRACT: The image of writing is singularly frequent in cognitivist explanations of the functioning of mind, not only as a metaphor but also as a conceptual paradigm : the Turing machine, particularly, displays a complete structural isomorphism with the use of alphabetical writing. The Turing machine performs exactly the same operations carried out by a man writing with pen and paper and this depends on two reasons : 1. it has been conceived in image and likeness of the human concrete practice of writing ; 2. it is the typical product of the western rationality, whose development has been made possible only by the specific features of the alphabetical treatment of information. This is useful to understand why the mind started being depicted as a writing machine just when the alphabet began spreading : a genealogical investigation will show how in mnemotechnics treatises and in Plato's and Aristotle's metaphysics we can find the very first foundation of every logico-symbolical model of mind.

KEYWORDS : The Turing machine, alphabet, cognitivism, Plato, Aristotle, genealogy, practice, mind.

ZUSAMMENFASSUNG : Das Bild der Schrift erscheint häufig bei erkenntnistheoretischen Erklärungen der Funktionsweise des menschlichen Geistes, und zwar nicht nur als Metapher, sondern auch als begriffliches Paradigma. Insbesondere besitzt die Turing-Maschine einen vollständigen strukturellen Isomorphismus mit dem Gebrauch der Buchstabenschrift. Die Turing-Maschine führt genau dieselben Operationen durch wie ein Mensch, der mit Stift und Papier schreibt, und zwar aus zwei Gründen : 1. sie wurde nach dem Vorbild des menschlichen Schreibens entwickelt und 2. sie ist ein typisches Erzeugnis des westlichen rationalen Denkens, dessen Entwicklung nur durch die Alphabetisierung der Information möglich geworden ist. Diese Gesichtspunkte sind hilfreich, und zu verstehen, warum man angefangen hat, den menschlichen Geist als eine Maschine zum Schreiben darzustellen, als die Verbreitung des Alphabets einsetzte. Eine genealogische Untersuchung wird zeigen, daß wir bereits in den mnemotechnischen Abhandlungen und in der Metaphysik von Plato und Aristoteles die ersten Grundlagen eines jeden logisch-symbolischen Modells des menschlichen Geistes finden können.

STICHWÖRTER : Turing-Maschine, Alphabet, Erkenntnistheorie, Platon, Aristoteles, Genealogie, Praxis, Geist.

RIASSUNTO : L'immagine della scrittura è singolarmente frequente all'interno dei modelli cognitivisti del funzionamento della mente, non solo come metafora ma anche come paradigma concettuale : la macchina di Turing, in particolare, esibisce un completo isomorfismo strutturale con la pratica dell'uso della scrittura alfabetica. La macchina di Turing esegue esattamente le stesse operazioni effettuate da un uomo che scrive con carta e penna e questo dipende da due motivi : 1. essa è stata concepita ad immagine e somiglianza della concreta pratica di scrittura umana ; 2. è il prodotto tipico della razionalità occidentale, il cui sviluppo è stato reso possibile specificamente dalle caratteristiche del trattamento alfabetico dell'informazione. Ciò risulta utile per comprendere perché la mente abbia iniziato ad essere raffigurata come un dispositivo di scrittura proprio quando l'alfabeto ha iniziato a diffondersi : una ricerca genealogica mostrerà come già all'interno degli antichi trattati di mnemotecnica e nella metafisica platonico-aristotelica sia possibile rinvenire la prima fondazione di ogni successivo modello logico-simbolico della mente.

PAROLE CHIAVE : Macchina di Turing, alfabeto, cognitivismo, Platone, Aristotele, genealogia, pratica, mente.

Massimiliano Lorenzo CAPPUCIO, born in 1977, is a student of philosophy at the Università degli Studi di Milano. As exchange student he studied for one year philosophy and cognitive sciences at the Universiteit Van Amsterdam ; now he is going to graduate with the thesis « Genealogy of mind as writing device » with professor Carlo Sini. He is also the founder and director of the Italian philosophy magazine *Chora* and author of a few articles about philosophical issues connected with the history of contemporary philosophy, philosophy of mind and neurosciences.

Address : Associazione culturale « Alboversorio », via Tolmezzo 12/7, I-20132 Milano.

E-mail : massimilianocappuccio@hotmail.com

PREMISES

References to writing systems in today's cognitivist literature are so frequent that they could hardly go unnoticed and, looking back to historical theories of mind, things don't seem substantially different. Inside many authoritative treatises it is not unusual to find serious analogies between the functioning of cognitive structures and the gesture of inscribing letters on a sheet of paper : psychic processes are most of the time compared to graphical operations aiming to manipulate some kind of mental text.

This could hardly appear unsuspecting to who, like Jacques Derrida, refers to writing as a « metaphor obsessing European discourse », *i.e.* a metaphor constituting the symptom of the removal of an onto-theological metaphysics¹. Also the historian of psychology John Sutton, about these days most diffused models of mind, notices a « strange continuity in metaphor and model from ancient wax tablets [...]»² ; as to say, in other words, that since Plato and Aristotle every scheme of the biological functioning of mind kept a close relation with the basic paradigm of alphabetical writing³. This paper aims to start a genealogical investigation into the origin of the metaphor of writing in the field of discourse concerning mind, with special attention to computational cognitivism ; the theoretical and methodological frame of this work is evidently in debt with Carlo Sini's philosophy of writing and with his phenomenology of practices.

TURING AND THE MACHINE THAT THINKS WHILE WRITING

How does a mind work in the eyes of classical cognitivism ? Its functioning has been ironically synthesized by Daniel Dennet with the colorful image of the *walking encyclopedia*⁴ : a huge, incredibly complex text in which old information is stored as a sequence of symbols disposed in a rationally organized space ; this space is divided into *cognitive boxes*, so that when information enters one of them it is processed by the specific algorithms of that box ; the output information resulting from this process is supposed to express virtually

1. DERRIDA, 1967.

2. SUTTON, 1998.

3. About this problem, also connected with its social and political characterization, see CAPPUCCIO, 2002.

4. DENNET, 2001, p. 133-143.

any sensorial or intellectual faculty. Dennet claims this model is too similar to our daily commerce with the practice of manipulating written information through the media of pen and paper, and this is the reason why it shows its artificiality, appearing as nothing more than a curious « intellectual artifact ». If this claim is correct it would be imperative to understand how it could be culturally and scientifically possible that men started depicting the human mind itself as a device for manipulating information, and why this device is so suspiciously similar to the graphic instruments used by men to store information. Almost certainly the famous ideal machine developed by Alan Mathison Turing is the grandmother of every walking encyclopedia-like computational model of mind, as well as the main inspiration for materialist functionalism. Following this kind of consideration it wouldn't be difficult to show how the Turing machine, too, is nothing more than a mechanistic, automatistic, post-Gutenbergian representation of the practice of alphabetical writing daily used by the most part of western people. Obviously the Turing machine doesn't concretely perform the same activity of an individual writing a text on a sheet of paper : but it is quite easy to exhibit that a Turing machine executes, in a formally defined way, any basic logical operation that every man must carry out in order to compose an alphabetical text. First of all let's define what features characterize western writing :

(1) An alphabet is a writing system based on the engraving of a limited set of characters types ; (2) tokens of these characters can be repeated virtually infinitely, so that we can in principle imagine an endless sheet of paper carrying an endless text ; (3) characters are disposed linearly in a sequential way, so that only one character can follow the previous character ; (4) only a few combinations of characters are allowed, according to syntactic rules ; (5) syntactic rules don't depend in any way on the pictorial-representative value of single characters ; (6) syntactic rules are not dependent (6a) on the size of characters ; (6b) on any material and accidental qualities of characters, like color, style, physical medium, etc. ; (6c) on the time of persistence of physical realization of characters, before they are deleted or substituted ; (7) during the whole permanence of the physical character, the syntactic rules relating to it stay identical to themselves.

Please notice that if a writing system doesn't respect (5) it's an ideographic or logographic system, and that such a system (like mesopotamic cuneiform) could also not satisfy (6). Let us notice also that (7) defines from an operational perspective the principle of invariance of the pragmatic meaning of a symbolic expression (so we can say that, given some formally expressed syntactic rules, we observe a constant correspondence between each character and a fixed set of operations correspond constantly to each character).

Let us now verify if these features of the alphabetical writing are kept in Turing's famous model. By definition it's accepted that the instructions regulating the actions of the machine are determined by the machine's structure

itself ; syntactic rules are no more than *a priori* relations between input and output information, so that the Turing machine is just their « behavioral expression ». When referring to these rules we can maintain exactly the same assertions we maintained describing the western writing system :

(1) types of symbols manipulated by the machine are in a limited set ; (2) tokens of these symbols can be repeated virtually in an infinite way, because of the endless tape of the machine ; (3) because the tape of the machine is divided into equal squares, the disposition of these symbols can only be sequential and linear, and only one symbol can lie in a certain square at a certain moment ; (4) only a few determined operations can be performed by the moving head of the machine, according to built-in syntactic rules ; (5) the machine doesn't consider the iconic value of the computed symbols, and it is supposed to be unable to recognize any of their figurative features ; actually such a kind of recognition can only be performed by a calculator running a complex program based on a huge amount of elemental operations. In other words at the basic level of its functioning the machine will never recognize symbols for what they depict, but only for some abstract logical function they are related to ; (6) the machine can be virtually implemented on any physical support, and operate independently from material or accidental qualities of the characters ; (7) syntactic rules must be constant and always identical, otherwise the machine would react in some unpredictable way : this is assured by the fact that rules are built in the original structure of the machine.

At least from a formalistic perspective it seems like the essence of alphabetical writing and that of the Turing machine are the very same.

THE LOGICO-SYMBOLIC MACHINE AND ITS ALPHABETICAL SOUL

Since the publishing of his article « Computing machinery and intelligence⁵ », in 1950, Turing started defending an original and somehow scandalous thesis : not only his ideal machine is able to reproduce every algorithmic operation on the basis of simple recursive and mechanical operations with symbols, but in principle it must also be able to reproduce every cognitive activity of human thought, provided the truth of a second thesis which, correctly or not, has also been attributed to Turing : at a very elementary level human thought works exactly as a recursively operating machine.

At the same time another belief, even more surprising, began strengthening : if human beings think in a mechanical way then it's not at all impossible that one day machines will develop some sort of thought, provided they are sufficiently complex and powerful. Discussions about the correctness of these

5. TURING, 1950.

theses are barely speculative and it would be interesting to know what Turing himself would have thought about later interpretations of his claims ; it is sure, anyway, that since that time the Turing machine has been considered in many environments the main model to explain and comprehend the logical processes at the base of human cognitive functions.

But it would be useful to take a step back and clearly recall which epistemic and practical conditions and which intentional attitudes Turing's research concretely started from in the first place.

The Turing machine is capable of simulating some aspect of the human mind not because the human mind is objectively structured in a mechanical way, but because the machine itself originates from the same attitudes and the same postures every man needs to activate in order to think in a formally correct way. This brings up two consequences : (A) the concept of the Turing machine has been constituted imitating our practices of alphabetical writing and, even more important, (B) the Turing machine is the product of a specific conceptual frame which has developed and has found its meaning in an alphabetical conceptual frame, on the basis of the typically formalist and conventionalist exercise of alphabetical writing and reading.

Assertion A is testified by some consideration reported by Turing himself in his working papers, showing that he was aware of being inspired by a tangible human behavioral habit.

In fact, Turing adopted a very atypical method for a mathematician and considered at first the pragmatic observation of an anthropic element. In the following passages, extracted from his ingenious work of 1936⁶, Turing examines the work of a computer : let us notice Turing is not referring to the work of an artificial device here, but to the work of a man. Before the spread of calculating machines, actually, the word « computer » did simply mean « a computing person », using pen and paper for his calculi.

« It is always possible for the computer to break off from his work, to go away and forget all about it, and later to come back and go on with it. If he does this he must leave a note of instructions (written in some standard form) explaining how the work is to be continued. This note is the counterpart of the "state of mind". »

Also referring to the nature of instructions executed by the machine, Turing is clearly inspired by the human practice of alphabetical writing :

« Computing is normally done by writing certain symbols on paper. We may suppose this paper is divided into squares like a child's arithmetic book. In elementary arithmetic the two dimensional character of the paper is sometimes

6. TURING, 1936.

used. But such a use is always avoidable, and I think that it will be agreed that the two-dimensional character of paper is no essential of computation. I assume then that the computation is carried out on one-dimensional paper ; *i.e.* on a tape divided into squares. »

This helps to verify the first statement proposed above : the Turing machine is nothing more than the idealized, formalized, mechanized and put in an abstract space version of that concrete and living practice of alphabetical writing that brought up western rationality in the past 2 500 years. The Turing machine is an eidolon of alphabetical writing, and one of the most eminent.

Turing is partially right in expecting consensus from his reader : every western man would agree that two dimensions are more than enough for executing calculi, and for every person capable of reading Turing's diary it is ideally possible to imagine a purely linear, sequential system of symbols able to express every sort of computations. But could this appear so evident to a man ignoring the functioning of linear writing, *i.e.* a man unaware of the conceptual possibilities permitted by alphabet, like a mathematician of ancient Mesopotamia ?

This question leads to specifying the meaning of assertion B : also the idealizing, formalizing and abstracting conceptual habits making possible the constitution of a Turing machine are cultural products derived by the alphabetical mentality. The logic that structures the Turing machine is the same that Aristotle expresses in his formal logic, which was written in Greek characters and could not even be imagined in an ideographic writing system⁷ : first of all the principle of identity, that is at the very base of the recognition process of characters of the same type (and is, therefore, the fundamental notion for the functioning of every Turing machine), could constitute an admirable formal expression of the very first fundamentals of thought for an ancient Greek man ; but it could perhaps have been perceived as an obvious empirical triviality by a Mesopotamian scholar. The identity principle (that western people represent imposing a relation between letters, like « A = A »), can't have the same value in an ideographic context and in an alphabetical one. Let us consider the example of reiteration : in an alphabetical context a sequence of identical letters (« aaaaa ») means that a reader will have to repeat five times the same operation (pronouncing the vocal « a »). Exactly like the moving head of a Turing machine, an alphabetical reader can't do anything else than executing the operations entrusted to written symbols, so that to every type of character corresponds exclusively one behavioral response : in the case of the alphabetical reader this response is the emission of a vocal sound ; in the case of a Turing machine an operation of movement/writing. For an ideographic reader nothing

7. SINI, 1989, p. 59.

could be more different, for every ideogram has the value of an icon and of an index : let's consider, for example, ancient Mesopotamian cuneiform inscriptions, where combinations of signs are not only linear and sequential, and utterances of the same logogram don't have the sense of a simple sum, but give place to different conceptual unities. For the logographic sensibility the last repeated character doesn't have the same meaning of the previous one, because different habits of response are related to the former and the latter : the attribution of an holistic structure of sense doesn't occur on operational bases but on iconic-representative ones⁸.

Recapitulating, it is possible to say that the Turing machine is two times a daughter of alphabetism : once because it has been conceptually built in the image and likeness of the writing/reading praxis, and once more because the same procedure of logical construction of the machine is nothing else than the formalizing conceptual procedure unique of alphabet. The Turing machine is the quintessence of alphabetism : as a copy of scriptorial practice and as the expression of a conceptual attitude.

IMITATED COMPUTERS IMITATING COMPUTERS

Once we become aware of the cultural and anthropological matrix the Turing machine arose from, it becomes necessary to radically reconsider the nature of that analogy, hypothesized by some part of cognitivism, between the logical thought of the human mind and logico-symbolical operations of the machine : even if this analogy is not unreasonable in itself, it can't in any case be inferred on an objective functional isomorphism between mind and machine, because this kind of foundation would assume as obvious just what has to be explained more clearly⁹.

Since the problem is what « computing » means for a man, it is not satisfactory to answer that « computing » means to operate recursively like a machine, because this obliges us to question what is the meaning of operating recursively

8. The semiotic fundaments of ideographic signification should certainly be explicated in a wider way. I assume the validity of Alfred Kallir's hypothesis about the « symbollic » value of iconic signs (see KALLIR, 1961), and its interpretation in Sini's thought (SINI, 1989).

9. Similarities between mind and machine don't occur because of some objective analogies in their structure, but because their concepts have been instituted in a mutual relation of imitation. Turing was at least partially aware of this difference conceiving its machine not as a model for the comprehension of human cognition but as the result of *an imitation game*. Actually the so called « Turing's test » was not meant to verify if a machine is objectively structured as a human mind, but only to furnish an indication of the coherence established between the behavioral response of the human and the machine playing this game. For a richer discussion of this theme refer to LONGO, 2002.

for the person that has built that machine or for the person whose machine is an imitation ; if we try to escape from this second question by answering that logico-symbolic operations performed by human mind are structurally analogous to the same operations performed by a machine, then the ghost of an absurd circularity appears.

It is possible to illustrate this circularity if we refer to the personal conceptual journey followed by Turing himself, by noticing how his work has been articulated in five stages : 1. first of all he began observing the behavior of a man working behind his desk, a man leaving notes to remind himself what he was doing, so that he could restart his job from the same point he left it ; 2. from these observations Turing abstracted a formal model of logico-symbolical activity, a model in which the written text on the sheet of paper is divided into equal squares or it is even reducible to a linear sequence of characters ; 3. exploiting this model Turing ideally built the prototype of a machine able to perform effective calculi in the shape of recursive and mechanical operations ; 4. observing the general ability of this prototype to simulate or reproduce human calculus, Turing hypothesized that the machine could be considered as an explicative and descriptive model for carrying out the main cognitive functions at an atomic level (and this will bring the British mathematician to anticipate the possibility that machines can think) ; 5. having foreseen that thought can be attributed to a machine, Turing imagined that the human mind is structured exactly like the ideal machine that bears his name.

At the end of this stage we come back again to stage 1 : the man sitting behind the desk and imitated by the Turing machine transformed himself, quite ironically, into just that machine. The circle is closed when the term « computer » transfigures itself and assumes a new meaning : the human computer becomes a mechanical – or electronic – computer. Turing accomplished an ingenious interpretative journey, being able to describe in automatistic terms calculus procedures performed by human beings. After that, having forgotten he set out his observations precisely from the anthropic element, he projected the just instituted truth back onto the epistemic conditions that permitted to institute this truth (or, in other words, on human nature)¹⁰. Turing's amnesia is neither premeditated nor merely accidental, but it is deeply-rooted in the

10. Turing's case is an eminent manifestation of a phenomenon studied by Maurice Merleau-Ponty and originally called by Henry Bergson « *mouvement rétrograde du vrai* », voir BERGSON, 1990. Synthesizing Bergson's argument we can say that every truth is established « here and now » by actual epistemic conditions, but it is immediately retroflected and collocated in history as an objective entity distant from the knowing subject and his context. This phenomenon displays how the context of the emergence of every science tends to disappear into the shadows of oblivion precisely when a positive history of that science is constituted.

epistemic and technological norm, which survives and reproduces itself constantly leaving in the darkness the practical conditions of its emergence.

The analogy between mind and machine can't be inferred on a functional or formalistic ground, as this procedure is evidently fabricated on a tautology and doesn't supply any tangible determination of the problem. In this perspective human thought would be explained on the ground of the machine's behavior, and the hypothetical thought of the machine would be assumed on the ground of human behavior¹¹.

Let us instead consider how profitable it can be to evaluate the analogy between human mind and machine in their cultural genesis, enlightened by a common practical and anthropological root : both human mind and machine are artifacts, inventions generated by a particular way of operating with signs, typical of western history.

MNEMOTECHNICS AND THE BIRTH OF THE ALPHABETICAL MIND

What is the origin of the metaphor of writing in the field of the science of mind ? Not casually western man started comparing mind to a writing device just when the first consonant-vocalic alphabetical system began imposing itself : in the Athens of the fifth century B.C., cradle of the explosion of the word-based civilization and field of the establishment of the first alphabet full of vocals¹². The idea that the mind functions as an information-storing support appears in mnemotechnics treatises at first. Simonides of Ceos, Hippias and the first sophists mastering this art, impressed by the huge amount of words that could be learnt by heart and indefinitely stored *in* the minds of those men following their training, started imagining the mind as a *tabula* (a writing tablet) divided into *loci* (or squares)¹³. In other words a malleable, spatially organized support able to keep and preserve written traces. But it is unrealistic to imagine that

11. It is here supposed that human behavior is the expression of a form of life, as already stated by Wittgenstein and even before – in different contexts – by Husserl, Heidegger, Dilthey and Nietzsche : a form of life intended as a polymorphic and irreducible complex of praxis incorporated in a cultural context and embodied in gestures, postures and creations of the human beings. If we state that a machine mimes human behavior it will be necessary to understand from which form of life the machine came. The affirmation that a machine lives an artificial life is not only counterintuitive but also unable to furnish concrete comprehension.

12. For what concerns the extraordinary cultural revolution initiated by the Greek alphabet refer to HAVELOCK, 1982. Alphabet not only impressed an acceleration to cultural, economical and legal development, but radically influenced the way of approaching the world at a very basilar cognitive level. About the influences of alphabet on cognition, with special reference to time-space perception, see DE KERCKHOVE, 1991.

13. About this see YATES, 1966.

sophists at first edified a theoretical prototype of mind imitating what writing concretely achieves, and that only later they started developing their art above this model of mind ; it is instead verisimilar that sophists, in practicing their art, at first began « engraving » words in their minds, exactly as they would have done with a wax tablet, and only later they started realizing that mind, whatever it really is, presents the same features of that tablet (like malleability and persistence). Mind as a wax tablet is not the result of a theoretical speculation, then, but results, so to speak, spontaneously from the exercise of certain praxis.

Only since the affirmation of two symmetrical techniques for memory storing – alphabetical writing and mnemotechnics – it has been possible to open a cultural receptacle such that the concept of mind could be seen as a logico-symbolical apparatus. Evidently before writing there was no mnemotechnics, and before mnemotechnics there could be not a mind structured according to alphabetical canons, as Turing intends it. Least of all could there be a mind able to express a logical and formal thought.

In *Theaetetus* Plato offers an evidence of this : Homer, says the founder of the Academy, conceived the heart – seat of memory – as a wax block modeled by a series of sensorial impressions¹⁴. But Homer, differently from Plato, was not aware that traces of sensorial impressions could constitute linguistic signs and certainly didn't ask himself if the correctness of a mental image does or does not depend on the logical and grammatical rules these signs are deployed with : in the age of sacral orality and of musically accompanied myth the mind could yet be conceived as something malleable and spatially organized, but the truth of correct discourse could not depend on the syntax of some linear sequences of symbols. This became possible only with the age of sophistry and Plato.

PLATO AND THE SYNTAX OF THE WAX TABLET

Plato would take one step further, an epochal step beyond sophistry. In one of his later dialogs, *Theaetetus*, the polymorphic complex of scriptorial practices of his age takes form in a huge metaphysical construction, able to complete the extraordinary institution of the psychic subject : for the first time it is not only supposed that soul is a completely immaterial, incorruptible entity, but also that it is a location where the world duplicates itself, occurring in the shape of an image ; a place, in other words, where sensible and intellectual realities are transcribed through a limited amount of signs indefinitely

14. PLATO, 1892, 194c.

repeatable. The psychic subject is then also a grammatological and alphabetical subject.

Plato, having already suggested in *Phaedrus* the existence of an intimate relationship between word and man, having compared a well structured discourse to the harmonic and symmetrical figure of the body, in *Theaetetus* he explicitly declares the textual nature of the psyche. With a very fortunate depiction he described how the thought is implemented in the living substrate of the human body :

« SOCRATES : I would have you imagine, then, that there exists in the mind of man a block of wax, which is of different sizes in different men ; harder, moister, and having more or less of purity in one than another, and in some of an intermediate quality.

« THEAETETUS : I see.

« SOCRATES : Let us say that this tablet is a gift of Memory, the mother of the Muses ; and that when we wish to remember anything which we have seen, or heard, or thought in our own minds, we hold the wax to the perceptions and thoughts, and in that material receive the impression of them as from the seal of a ring ; and that we remember and know what is imprinted as long as the image lasts ; but when the image is effaced, or cannot be taken, then we forget and do not know¹⁵. »

The meaning of this metaphor is perhaps evident to every man educated by the millenary tradition of the principle of *adequatio intellectus et rei* : every mental content exists just because it is immediately translated by a set of symbols somehow engraved on a hard support localized somewhere in the mind. This support is able to keep the impressions of virtually any symbols, and even symbols that are not actually impressed anyway lie in potency inside the formless matter. The capacity of carrying out reasoning or calculi is rooted in the ability of manipulating written signs in the soul : as explained by Plato¹⁶, in the case of an addition (7 + 5) the soul simply operates with numbers impressed in itself, exactly like a man would do with numbers written on a wax tablet. For the first time, at this point of the friendly conversation between Socrates and Theaetetus, western civilization caresses the idea that every mental event is a symbolic process.

Plato's dialectical science also deepens into the question about the grammatical rules controlling the use of symbols contained in the wax tablet : Plato is especially interested in elaborating an explication for cognitive errors¹⁷ (like

15. PLATO, 1892, 191c.

16. PLATO, 1892, 195e.

17. PLATO, 1892, 192a and later. Plato's discussion of the problem of cognitive error is surely more articulated than the simple synthesis presented here.

faked memory or misperceptions), aiming to clarify how information could be corrupted even if preserved on a stable medium. He will then clarify that cognitive error happens either at a syntactic level or at a semantic level : a syntactic error occurs when two symbols are associated in the wrong manner ; a semantic error occurs when symbols written in the soul can't be clearly associated with objects subsisting in external reality. None of them can in any way depend on a wrong application of the formal calculus procedure, but can only be related to a material imperfection, imputable to imperfect conditions of the physical support or to unfavorable material conditions of a perceptive process (like fog in the case of vision).

ARISTOTLE AND THE MIND AS FORM OF ALL FORMS

The implementation of soul within the human body is another highly problematic issue : if the wax tablet is localized within the soul then it is eternal and perfectly immaterial, and it is unclear how material imperfections can occur ; on the other hand, if the wax tablet is realized in some bodily structures, it is unclear how Platonic dualism can save the independence (and then the immortality) of soul, which would then depend on some physical substrate.

Aristotle did propose a solution of this problem, distinguishing a potential intellect (a passive physical realization of signs written on the tablet) and an active intellect (actively intervening by « enlightening » the written characters in consciousness-related processes). Quite similarly to the Turing machine, Aristotle's signs written in the soul are completely inert until they come under the attention of an active element : in Turing's model this element is represented by the moving head of the machine, able to identify the scanned symbols on the tape and somehow able to be so to say « directly aware ». The problem of the implementation of these two components will be formulated again and again during the whole history of western psychology, each time determining a different conception of the mind-body connection.

A considerable distance lies between the points of view of Plato and Aristotle : what was for the former only a verisimilar hypothesis inserted in a dialogical and narrative context, for the latter was an operative model of scientific explication. Let us consider what the Stagirite asserts in the treatise *De anima*¹⁸ :

« By a "sense" is meant what has the power of receiving into itself the sensible forms of things without the matter. This must be conceived of as taking place in the way in which a piece of wax takes on the impress of a signet-ring without

18. ARISTOTLE, 1984, book 2, sect. 12, 424a.

the iron or gold ; we say that what produces the impression is a signet of bronze or gold, but its particular metallic constitution makes no difference : in a similar way the sense is affected by what is coloured or flavoured or sounding, but it is indifferent what in each case the substance is ; what alone matters is what quality it has, *i.e.* in what ratio its constituents are combined. »

This concept is also expressed in the treatise *De memoria et reminiscencia*¹⁹, where Aristotle affirms that sensorial stimuli « involved the act of perception stamps in, as it were, a sort of impression of the percept, just as persons do who make an impression with a seal ».

This shape doesn't constitute a memory in itself, and actually « in so far as it is regarded in itself, it is only an object of contemplation, or a presentation ; but when considered as relative to something else, e.g. as its likeness, it is also a mnemonic token ».

In another part of *De anima*²⁰ it is asserted that not only perception but also potential intellect functions through a process of reception and impression of signs :

« Have not we already disposed of the difficulty about interaction involving a common element, when we said that mind is in a sense potentially whatever is thinkable, though actually it is nothing until it has thought ? What it thinks must be in it just as characters may be said to be on a writingtablet on which as yet nothing actually stands written : this is exactly what happens with mind. »

Certainly Aristotle didn't hold a computational vision of elementary cognitive processes and in general he did not conceive the carrying out of psychic processes as a series of combinations or as mechanical movements of simple parts (especially because soul is not composed of parts). Still it is possible to point out elements of radical innovation in his thought, elements which will remain until Turing's model. In other words we can say that, for Aristotle : (1) sensorial and intellective data are carried by psychic traces having the value of symbols ; (2) these symbols are present in consciousness as there is a relation of structural isomorphism between psychic traces and mental contents (so that configurations of traces correspond to configurations of mental events) ; (3) psychic traces are spatially and sequentially disposed : as time flows new traces are impressed beyond or above old traces of past mental events ; (4) this means psychic traces are discretely inscribed, because otherwise they would not be singularly recognizable ; (5) in the case of intellectual functions the symbolic flux is written on the potential intellect and read by the active intellect.

19. ARISTOTLE, 1931, sect. 1, 450a.

20. ARISTOTLE, 1984, book 3, sect. 4, 429b.

Concluding we could synthesize Aristotle's model this way : psychic processes are realized by discrete and sequential logico-symbolic operations of writing/reading ; they operate in space with information formally expressed through syntactically organized elements. It seems like Aristotle's model and Turing's are, under certain aspects, more similar than we could expect.

This model will find, especially since Galen, a complete integration into ancient physiology, and the nature of logico-symbolical signal will be made explicit in the anatomical theory of animal spirits, traveling along ventricula and being steadily impressed on the partitions of the heart. The aim of this paper, in any case, is to show the functionalistic and ilomorphistic perspective adopted by Aristotle. Let us notice again how sequences of symbols carry information only in virtue of their formal, quantitatively describable, structure : material realization of this structure is merely accidental and indifferent from a functionalist perspective. So that, not differently from Putnam's principle of multiple realizations²¹, a soul is virtually realizable with every material support.

The soul is defined by Aristotle as the formal cause of living bodies and at the same time it is the form of all forms : a logical space where every imaginable form can take its place and occur as a figure of thought.

THE LOGICO-SYMBOLIC STRUCTURE OF CONSCIOUSNESS

Like Anaxagoras, but differently from the rest of pre-Socratic tradition, Aristotle refuses the principle stating that a mind understands « similar through similar », because this presupposes a material and qualitative participation of some physical elements into cognitive processes : Empedocles, for instance, thinks that the flux of atoms of fire reaching the organs of sense is not only an expression of some perceptive information, but it is an embodied, qualitatively relevant, unity of sense.

Since Aristotle, on the contrary, western man began imagining that there is no material concoction between perceived objects and intellect : instead there is a mere impression of shapes. This can't be abandoned if we want to recognize the Aristotelian inheritance in modern conceptions of mind, and it is also an evidence that the Aristotelian model has been directly originated by an alphabetical cultural frame. For the Stagirite sensorial perceptions produced by the transmission of signals coming from sense organs and directed to the wax tablet of soul have nothing in common with any qualitative features of the distinct signals taken on their own, so that in the mind of a man we could not find any direct depiction of the object of his thought, nor could we find the qualities of the object of thought in the symbols written on the tablet of soul.

21. PUTNAM, 1975.

The meaning of thought doesn't lie in any single symbol written in the soul, but emerges as the holistic result of their combination. In this paradigm the correctness of mental representations does not depend on iconic values but on syntactic rules.

This treatment of information is exactly what alphabet made so ordinary for us : an alphabetically written word doesn't keep any pictorial-representative relation with the thing denoted by it. The writing system adopted by Athenians and by Romans prepared the European mentality for a merely conventional use of the graphic sign. That is why we take as given that a sequence of characters can be meaningful even if the original sacral value of the characters is completely forgotten, even if no character carries a meaning in itself, and finally even if this sequence of characters is completely decontextualized.

What pragmatic conditions permitted the alphabet to acquire such a special status ? By deploying in front of the reader the shape of represented objects, by displaying its vital and tangible features, ideographic and pictographic writing systems represent things in an intimate unity with their corresponding characters, so that reality is not only denoted but literally graphically embodied in written signs. On the contrary an alphabetical system, because of its desomatizing nature, conceals its own physicality and wrap itself with the intangibility of the voice : so that if letters can be used as merely conventional references to an operational praxis (the reading, the vocal gesture) it is just because alphabet hides its own iconic value.

Classical computationalism, with the theories of artificial intelligence, states that thought takes place in a series of computations : it appears difficult to falsify this statement and it is in principle also indemonstrable that thought is like a supplement added to the tangible body of some symbolic elements. The very nature of this problem appears destined to stay eternally unsolved if challenged in an abstract theory, and curious analogies between cognitive functions and the most different graphic tools will just remain mysterious coincidences²². It is perhaps the moment to start considering how it could be valuable to initiate a genealogical investigation concerned with the very origin of this problem and with the practical conditions of its emergence.

Massimiliano Lorenzo CAPPuccio
(February 2003).

22. About the basic theoretical problems related to this kind of analogy, and specially to the epistemological dilemma of homunculus-like theories, refer to DRAAISMA, 2000, p. 212.

LIST OF REFERENCES

- ARISTOTLE, 1931, *On memory and reminiscence*, in *Works of Aristotle*, vol. III, transl. by John Isaac BEARE, Oxford, Clarendon Press.
- ARISTOTLE, 1984, *On the soul*, in *The Complete Works of Aristotle*, transl. by John Alexander SMITH, vol. I, Princeton, NJ, Princeton University Press.
- BERGSON (Henri), 1990, *La Pensée et le mouvant*, Paris, Presses universitaires de France.
- CAPPUCCIO (Massimiliano Lorenzo), 2002, « Bioscritture e potere », *Chora*, 4, May, p. 38-46.
- DE KERCKHOVE (Derrick), 1991, *Brainframes. Technology, mind and business*, Utrecht, Bso/Origin.
- DENNET (Daniel), 2001, « Things about things », in BRANQUINHO (João), ed., *The Foundations of cognitive science*, Oxford, Oxford University Press.
- DERRIDA (Jacques), 1967, « Freud et la scène de l'écriture », in ID., *L'Écriture et la différence*, Paris, Seuil.
- DRAAISMA (Douwe), 2000, *Metaphors of memory. A history of ideas about the mind*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HAVELOCK (Eric), 1982, *The Literate Revolution in Greece and its cultural consequences*, Princeton, NJ, Princeton University Press.
- KALLIR (Alfred), 1961, *Sign and design. The psychogenetic source of the alphabet*, Vernum, Richmond-Surrey.
- LONGO (Giuseppe), 2002, « Laplace, Turing et la géométrie impossible du "jeu de l'imitation" ». Aléas, déterminisme et programmes dans le test de Turing », *Intellectica*, 35, Sept., p. 131-162.
- PLATO, 1892, *Theaetetus*, in *The Dialogues of Plato*, vol. IV, transl. by Benjamin JOWETT, Oxford, Clarendon Press.
- PUTNAM (Hilary), 1975, *Mind, language, and reality. Philosophical Papers*, vol. II, Cambridge, Cambridge University Press.
- SINI (Carlo), 1989, *I Segni dell'anima*, Roma-Bari, Laterza.
- SINI (C.), 1994, *Filosofia e scrittura*, Roma-Bari, Laterza.
- SUTTON (John), 1998, *Philosophy and memory traces. Descartes to connectionism*, Cambridge, Cambridge University Press.
- TURING (Alan Mathison), 1936, « On computable numbers, with an application tot he Entscheidungsproblem », repr. in DAVIS (Martin), ed., *The Undecidable. Basic papers on undecidable propositions, unsolvable problems and computable functions*, New York, NY, Raven Press, 1965.
- TURING (A. M.), 1950, « Computing machinery and intelligence », *Mind*, 49, p. 433-460.
- YATES (Frances), 1966, *The Art of memory*, Chicago, University of Chicago Press.

ESPACE, TEMPS ET COGNITION

À PARTIR DES MATHÉMATIQUES ET DES SCIENCES DE LA NATURE

Francis BAILLY et Giuseppe LONGO

RÉSUMÉ : La cognition humaine paraît étroitement liée à la structure de l'espace et du temps relativement auxquels le corps, le geste, l'intelligibilité semblent devoir se déterminer. Pourtant, ce qui, après les approches physico-mathématiques de Galilée et de Newton, fut caractérisé par Kant comme formes de l'intuition sensible, n'a cessé au cours des siècles qui suivirent de se trouver remis en cause dans leur saisie première par les développements théoriques. En mathématiques d'abord, avec les géométries non-euclidiennes, en physique ensuite, où relativité générale puis théories quantiques et critiques ont dû remanier profondément l'objectivité de ces concepts pour en faire des catégories, certes toujours aussi essentielles, mais de plus en plus contre-intuitives, et maintenant en biologie où la temporalité, notamment, et la causalité se révèlent largement différentes de celles de la physique. C'est ce que nous tentons de présenter et de discuter dans ce texte en vue d'en dégager la pertinence pour la cognition elle-même.

MOTS-CLÉS : espace, temps, cognition, théories scientifiques.

ABSTRACT : Human cognition seems strictly related to the structure of space and time where bodily presence, action and intelligibility are to be determined. Yet, the classical characterization of space-time by Galileo and Newton, brought to the limelight of theories of knowledge by Kant as form of intuition, has been superseded, through the following centuries. In mathematics first, beginning with non-Euclidean geometries, then in physics, where general relativity and quantum and critical theories deeply revised the very formation of scientific objectivity along these concepts and in conjunction with causality. In particular, in physics, space and time, their structure and dimensions, moved away from the intuitive space and time of senses ; a similar non-naive attitude seems to be required in the understanding of temporality and causality in biology, where these notions need to be specified yet in a different way. In this text we try to stress the relevance of these issues for the purposes of the analysis of cognition.

KEYWORDS : space, time, cognition, scientific theories.

ZUSAMMENFASSUNG : Zwischen dem menschlichen Erkenntnisvermögen und der Struktur von Raum und Zeit scheint ein enger Zusammenhang zu bestehen, denn es sieht so aus, als ob Körper, Handlung und Verständlichkeit dadurch bestimmt sind. Doch das, was im Anschluß an das physikalisch-mathematische Vorgehen Galileis und Newtons von Kant als Anschauungsform bezeichnet wurde, wurde im Laufe der späteren Jahrhunderte immer wieder durch die Entwicklung neuer Theorien in Frage gestellt. Das geschah zuerst in der Mathematik durch die nicht-euklidische Geometrie, anschließend in der Physik, wo die allgemeine Relativitätstheorie und die Quantentheorie die Objektivität dieser Begriffe zweifelhaft erscheinen ließen und daraus Kategorien machten, die zwar immer noch grundlegend sind, sich aber von intuitiven Begriffen immer weiter entfernt haben. Dasselbe gilt für die Biologie, wo die Begriffe der Zeitlichkeit und der Kausalität etwas ganz anderes bedeuten als in der Physik. Dieser Sachverhalt wird in dem vorliegenden Artikel diskutiert, um seine Bedeutung für den Erkenntnisprozeß herauszuarbeiten.

STICHWÖRTER: Raum, Zeit, Erkenntnis, wissenschaftliche Theorien.

RIASSUNTO : La cognizione umana sembra strettamente legata alla struttura dello spazio e del tempo relativamente alla quale il corpo, il gesto e l'intelligibilità stessa sembrano doversi determinare. Tuttavia, la « forma dell'intuizione sensibile » ad essa correlata, caratterizzata da Kant sulla scia della fisico-matematica di Galileo e Newton, e' stata a piu' riprese rimessa in discussione nel corso dei due ultimi secoli dagli sviluppi teorici della fisica e della matematica. In matematica, innanzitutto, dalle geometrie non-euclidee, in fisica in seguito, dove la relatività generale e, poi, le teorie quantistiche e di tipo critico hanno dovuto rivedere profondamente l'oggettività di questi concetti per farne delle nuove categorie, ancora assolutamente centrali, ma crescentemente anti-intuitive. Ed ora la biologia riapre la discussione per via di un approccio alla causalità ed alla temporalità che sembra molto diverso da quello della fisica. Cercheremo, in questo testo, di riflettere sul rapporto stretto fra quadri spazio-temporali costitutivi della conoscenza, in fisica ed in biologia, come premesse indispensabili ad un chiarimento del loro ruolo nella cognizione umana.

PAROLE CHIAVE: spazio, tempo, cognizione, teorie scientifiche.

Francis BAILLY, né en 1939, est chargé de recherche au Centre national de la recherche scientifique, Laboratoire de physique du solide et de cristallogénèse (LPSC). Il participe également aux travaux du Centre pour la synthèse d'une épistémologie formalisée (CeSef).

Adresse : Laboratoire de physique des solides et de cristallogénèse-CNRS, 1 pl. Aristide-Briand, F-92195 Meudon Cedex.

Courrier électronique : baily@cnsr-belleuve.fr

Giuseppe LONGO, né en 1947, est directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique, Laboratoire d'informatique de l'École normale supérieure, depuis 1990. Il est ancien professeur à l'université de Pise (de logique mathématique et, ensuite, d'informatique) ; il a travaillé trois ans aux USA (Berkeley, M.I.T. et Carnegie Mellon University) et dirige, depuis 1990, la revue *Mathematical Structures in Computer Science* de la Cambridge University Press.

Adresse : Laboratoire et département d'informatique CNRS-École normale supérieure et CREA, École polytechnique, LIENS, 45 rue d'Ulm, F-75005 Paris.

Courrier électronique : longo@di.ens.fr – <http://www.di.ens.fr/users/longo>

Ce texte est organisé en deux parties : l'analyse de l'espace et du temps en physique (I), suivie d'une incursion dans le domaine de la biologie et dans celui des concepts gnoseologiques mobilisés par ces disciplines (II).

Il s'agit, bien évidemment, d'une introduction aux problèmes immenses qui sont posés notamment par l'intelligibilité mathématique de « l'espace » dans ces sciences, et bien entendu nous y discutons d'abord des thèmes qui nous sont les plus proches, en tant que physicien et mathématicien, tout en n'abordant que quelques aspects de la biologie, discipline pour laquelle la mathématisation elle-même constitue un enjeu majeur.

Selon notre opinion, ces thèmes entretiennent des liens très étroits avec la cognition. En effet, nous estimons que les philosophies associées aux fondements des mathématiques et des sciences de la nature ont profondément marqué les approches de la cognition humaine et c'est la raison pour laquelle une réflexion sur les thèmes analysés constitue à nos yeux des prémisses indispensables à toute réflexion sur les enjeux des sciences cognitives. Mais, avant d'entrer dans le vif du sujet, il est nécessaire de préciser un peu.

Les théories physiques contemporaines – celles qui sont nées et se sont développées au XX^e siècle – ont conduit à une géométrisation de plus en plus poussée de la physique. En contrepartie apparaît une physicalisation de plus en plus affirmée de la géométrie. C'est déjà le cas avec la théorie de la relativité générale, par exemple, où la géométrisation de la gravitation (les trajectoires des objets sont décrites comme des géodésiques de la variété riemannienne d'espace-temps correspondante) s'interprète aussi bien comme une physicalisation de l'espace-temps mathématique (la courbure de l'espace-temps est attribuée à la distribution d'énergie-impulsion). Ce l'est encore plus dans les théories quantiques des champs où l'introduction de champs de jauge non abéliens pour rendre compte des interactions quantiques ont conduit pour leur part au développement d'une géométrie elle-même non-commutative¹. Dès lors, si l'on considère l'épistémologie de l'espace-temps et que l'on accepte de voir dans les déterminations mathématiques de la géométrie le processus d'objectivation des formes de l'intuition que constituent l'espace et le temps phénoménaux, on doit aussi accepter d'aller plus loin, c'est-à-dire accepter que ces formes de l'intuition, comme ces déterminations mathématiques, se trouvent elles-mêmes investies en retour par les déterminations physiques des théories contemporaines.

1. CONNES, 1990.

Quant aux rapports entre mathématiques et biologie, la différence cruciale que l'on essayera de mettre en évidence réside tout d'abord dans le rôle « constitutif » des outils mathématiques pour la physique, par contraste avec la situation conceptuelle qui prévaut en biologie. En effet, les quelques indices et régularités que l'expérience nous fournit sont transformés, en physique, en structures mathématiques très riches, beaucoup plus riches que ces « symptômes » que nous saisissons du monde physique, en particulier en relativité et en microphysique. De plus, ces structures, loin d'être seulement descriptives, sont régulatrices, en fait *normatives*, de la réalité physique (et de son espace) : elles contribuent à déterminer cette réalité, elles la constituent. On ne peut rien dire, en relativité, en physique quantique, sur les systèmes dynamiques (au cœur des théories de type critique) sans les mathématiques : elles sont le langage qui constitue l'objet ainsi que l'espace conceptuel et phénoménal de la physique.

Par contraste, en biologie, le vivant s'impose dans sa richesse phénoménale et toute théorie mathématique n'en saisit que quelques aspects, fractionne l'unité et l'individualité du vivant, son « imbrication » dans l'écosystème. Si l'on veut réfléchir au rôle de la mathématique dans la cognition humaine, il faut aussi repenser celui de cette discipline en biologie, car le vivant est le point de départ de toute réflexion sur l'entendement. Néanmoins, malgré ces différences et la moindre mathématisation de la biologie, on peut constater, dans bien des secteurs de cette discipline, un mouvement semblable vers la « géométrisation ». La question de l'espace propre ne s'y pose pas seulement au niveau de la structure macromoléculaire (séquences de bases sur l'ADN et les effets génétiques qui en résultent, par exemple, ou structures spatiales des protéines et prions), mais aussi à celui du développement (effets inducteurs des contiguités spatiales dans l'embryogenèse, par exemple), du fonctionnement des organismes (géométries fractales affectant des interfaces membranaires ou des réseaux arborescents engagés dans des fonctions physiologiques et des régulations) ou encore au niveau des populations dans le partage de l'environnement et les dynamiques qui s'y trouvent associées. De même, la question du temps s'y pose aussi bien en ce qui concerne l'articulation entre temps de réponse à des stimuli externes et temps itératif associé aux rythmes internes du temps biologique propre, que pour les synchronies et hétérochronies dans les développements dont la prise en compte a conduit à une reformulation récente de la théorie synthétique de l'évolution elle-même.

Mais, quel lien peut-il y avoir entre les espaces de la physique et ceux du vivant ? Le fait est que cette formidable construction conceptuelle que représente la géométrie humaine et dont le but est de rendre l'espace intelligible, de l'organiser, est enracinée dans ces « actes d'expérience » qui marquent notre présence au monde. Elle trouve son origine dans un couplage fondateur et fécond entre notre « agir dans le monde », en tant qu'êtres vivants et engagés dans l'intersubjectivité (on reprend ici, très librement, des thèses d'Edmund

Husserl²), la capacité de symbolisation et d'abstraction dont l'évolution a doté l'espèce humaine, et le développement de son imaginaire créatif – en même temps que celui de sa rationalité – qui en ont résulté. C'est dans un parcours constitutif – qui va de la phylogenèse, à l'ontogenèse, puis au dialogue entre êtres vivants dans l'histoire, stabilisé dans l'intersubjectivité, dans l'écriture, dans la mémoire historique – qu'il faut trouver le sens même des plus complexes parmi les constructions de la physique-mathématique. Sans le tout premier geste du vivant dans l'espace, avec toute son intentionnalité pourvue de ces dimensions imaginaires et cognitives, il n'y aurait pas l'idée d'une « variété à 10 dimensions », pour élaborer la théorie des « supercordes », en physique quantique.

L'objet de ce texte est donc de tenter d'analyser certaines des conséquences épistémologiques de ces situations sur les représentations de l'espace et du temps – et les déterminations théoriques qui régulent désormais ces représentations –, telles qu'elles ressortent de ces avancées scientifiques.

Dans la première partie, nous analyserons donc les statuts de l'espace et du temps engendrés par les trois grands types de théories physiques contemporaines : les théories de type relativiste, les théories de type quantique et les théories de type critique. Dans la seconde partie, chaque auteur évoquera indépendamment la situation dans certains secteurs de la biologie théorique et nous récapitulerons et généraliserons ces approches en tentant de présenter une sorte de catégorisation actualisée, abstraite et formalo-mathématique, des concepts d'espace et de temps en tant qu'invariants gnoseologiques.

Francis BAILLY et Giuseppe LONGO

2. HUSSERL, 1962.

I. – UNE INTRODUCTION À L'ESPACE ET AU TEMPS DE LA PHYSIQUE

Francis BAILLY et Giuseppe LONGO

À PARTIR DE LAPLACE

La physique du XIX^e siècle a été marquée par l'extraordinaire figure de Laplace. Ses mathématiques, sa physique, sa philosophie représentent le moment de la maturité pour le tournant moderne de la science, celui de Descartes, Galilée et Newton.

La physique, en particulier, est organisée dans des espaces cartésiens absolus où les corps sont gouvernés par les lois de Galilée-Newton. La perfection du mécanisme du monde, de l'univers, est complètement exprimée par des règles mathématiques éternelles. Un être parfait qui connaîtrait avec une approximation parfaite la situation du monde à un instant donné – récite une phrase trop connue de Laplace – pourrait prévoir parfaitement toute évolution future. Mais, ce qui compte plus encore pour le scientifique laïque et humainement imparfait qu'est Laplace, ce n'est pas la connaissance parfaite, divine, donc impossible, mais l'analyse des « perturbations » : si l'on connaît, *avec une certaine approximation*, la situation d'un système physique, on pourra, en général, en déterminer l'évolution avec une *approximation du même ordre de grandeur*. En ce sens, selon Laplace, des règles (mathématiques) gouvernent *complètement* le monde et permettent de prédire son futur. Celui-ci est réductible à (et prédictible par) un ensemble fini et complet de règles, bien exprimé par ses systèmes d'équations. En fait, l'analyse des perturbations (planétaires) est une des motivations les plus importantes des progrès extraordinaires de la physique-mathématique du XIX^e siècle (et de l'analyse mathématique dans son ensemble).

On verra que la physique du XX^e siècle a pris d'autres directions. Dans ce qui suit, on essayera brièvement de rappeler que les systèmes dynamiques, la physique quantique, la relativité ont développé de tout autres concepts et inspiré de tout autres philosophies des sciences.

Or, il n'en va pas de même pour le courant principal des sciences cognitives. Alan Turing, dans son article fondateur de l'Intelligence Artificielle (forte) et de l'hypothèse « fonctionnaliste » en cognition, explicite très bien la notion de causalité physique sous-jacente à son invention de la Machine à États Discrets programmable (MED) : dans une MED, « il est possible de prédire

tous les états futurs. Cela nous rappelle les vues de Laplace [...]. La prédiction que nous envisageons est, cependant, relativement plus effective que celle que Laplace considère³. L'idée laplacienne de « l'ensemble fini et *complet* de règles » est donc consciemment au cœur du formalisme mathématique qui est à l'origine de l'informatique moderne, la machine de Turing, ainsi que du « jeu de l'imitation » de ce dernier, par lequel il entend démontrer que le cerveau est équivalent à sa machine⁴. En fait, la notion de programme « déterministe », telle que nous l'avons reçue des travaux en logique mathématique (plus précisément, en théorie de la calculabilité) de Haskell B. Curry, Alonzo Church, Alan Turing, Stephen O. Kleene (1930-1936)... est laplacienne, c'est-à-dire qu'elle implique la prédictibilité de l'évolution du système ordinateur-programme, dans un sens bien précis et dont on discutera. Bref, on espère bien parvenir à savoir comment va évoluer un programme dans un temps fini⁵ ! Suite à cette exigence, qui est « logique » (propre des systèmes logiques, pour la déduction formelle, dont l'étude motivait ces calculs des années 1930), et non pas physique, une culture laplacienne du « cerveau comme machine de Turing » et de « programme » s'est transférée dans les analyses de la cognition, voire en biologie. Pour ce qui concerne notre projet, observons que la machine de Turing est indépendante de la structure de l'espace (la dimension cartésienne du « matériel » n'a pas d'influence sur son expressivité) et son horloge engendre un temps séquentiel, sorte d'absolu newtonien discrétisé. Encore une fois, il s'agit d'une machine logique et non pas physique, ne serait-ce que parce que la structure de l'espace et du temps, et de leur dimensionalité, est au cœur de toute analyse des phénomènes physiques, surtout au XX^e siècle.

3. TURING, 1950, ici trad. franç., p. 145.

4. TURING, 1950, ici trad. franç., p. 145, reprend une deuxième fois, dans son texte, une référence à Laplace, dans la description de sa MED, à laquelle il contrapose un exemple paradigmatique d'imprédictibilité dans le monde physique : « [...] le déplacement d'un seul électron [...] peut faire qu'un homme sera tué par une avalanche un an plus tard, ou en réchappera ». Quant au cerveau, ce dernier fait partie du monde physique, car, précise-t-il : « Une petite erreur dans l'information sur la taille de l'impulsion nerveuse » peut en affecter le fonctionnement global (*ibid.*, p. 162). En termes modernes, le cerveau est plutôt un système dynamique, sensible aux conditions au contour. Toutefois, et voilà le sens du « jeu de l'imitation », si l'on suppose qu'il n'y ait qu'une « grille discrète d'accès » aux cerveaux et aux machines, par le langage, du point de vue fonctionnel, le cerveau peut être considéré équivalent à une machine à états discrets. (En fait, la MED serait indistinguable du cerveau d'une femme : le « jeu de l'imitation » consiste à distinguer un homme d'une femme, par des questions écrites ; au cours du jeu, l'homme est remplacé par une machine.) Voir LASSÈGUE, 1998, pour une biographie de Turing et son histoire dramatique avec la justice anglaise, de son homosexualité à son suicide. Ce jeu et son impossibilité du point de vue de la physique mathématique moderne sont analysés in LONGO, 2002b.

5. Au moins pour les machines séquentielles, mais on reviendra sur ce point délicat.

Nous développerons donc d'abord une brève analyse des courants principaux de la physique moderne, principalement dans le dessein de clarifier des enjeux qui se situent, aujourd'hui encore, au centre des philosophies de la connaissance, dont la réflexion sur la physique est, depuis toujours, un des pivots. D'autant que toute réduction du vivant et des activités mentales au « monde physique » devrait d'emblée se demander : réduction, mais vers quelle (théorie) physique ? Quelles « lois » physiques faut-il utiliser dans l'analyse des phénomènes biologiques et cognitifs ?

TROIS TYPES DE THÉORIES PHYSIQUES
RELATIVITÉ RESTREINTE ET GÉNÉRALE, PHYSIQUE QUANTIQUE
ET PHYSIQUE DES SYSTÈMES DE TYPE CRITIQUE

Il s'agit de présenter ici une « classification » des théories physiques largement influencée par leur façon de « traiter l'espace » : les théories de type relativiste, de type quantique et de type critique.

Relativité restreinte et générale

Le premier type de théories (les théories de type relativiste) introduit un espace-temps quadridimensionnel, dont les lois de conservation et les principes de causalité relativistes sont décrits en tant qu'invariants mathématiques par rapport à un « groupe de relativité » : la théorie de la relativité restreinte nous donne les « objets » physiques et la structure même de l'espace-temps, comme ensemble des propriétés invariantes par rapport au groupe des déplacements – rotations et translation – dans ce nouvel espace (groupe de Lorentz-Poincaré). En relativité générale, la géométrie riemannienne *engendre* l'espace physique, l'univers de repérage, avec sa dimensionalité et ses symétries propres. Dans les espaces ainsi introduits, les coefficients de la métrique *sont* les potentiels gravifiques, de même que la courbure locale de la variété riemannienne *est* l'énergie et l'impulsion physiques. La géométrie de l'espace se révèle donc comme le lieu constitutif de ces invariants que nous appelons objets et lois physiques. Et la physique ne trouve pas seulement son sens dans l'espace mathématique, mais ce dernier prescrit l'objectivité (les objets) *et* l'objectivité (la loi) physiques, comme invariants dans ces espaces.

Cette corrélation, déjà partiellement présente dans la physique galiléenne (et dans sa notion de relativité spatiale), est centrale depuis Einstein. Il faut toutefois rappeler l'incroyable « *insight* » de Bernhard Riemann, qui, au sujet d'une possible corrélation entre énergie-force (gravitation, forces de « cohésion ») et propriétés de l'espace, écrit : « Le fondement des relations métriques

doit être trouvé ailleurs, *dans les forces cohésives qui agissent sur lui [l'espace]*⁶. »

Dans ces espaces métriques, structurés par la cohésion des objets et structurant leurs interactions (la stabilité des lois : la conservation de l'énergie, des moments...), les symétries et les géodésiques structurent la physique. Le théorème de Noether décrit, en termes de symétries spatio-temporelles, ces invariants physiques (la conservation de l'énergie, par exemple, est un invariant lié à la symétrie de translation temporelle), tout comme les géodésiques nous fournissent les trajectoires qui sont recevables, en tant qu'elles sont stables (minimales)⁷.

Dans ces quelques lignes, nous avons, par rapidité, « unifié » l'approche mathématique de l'espace en relativité restreinte (électromagnétisme, qui relie électricité et magnétisme) et en relativité générale (gravitation, cosmologie). De fait, cette unité existe et la relativité restreinte, par exemple, peut être considérée comme un cas particulier de la relativité générale. Encore une fois, la géométrie « encadre », donne un sens, constitue les nouveaux invariants : elle les unifie dans un même espace, en tant que nouvelles propriétés stables par rapport à des nouveaux groupes de transformations (spatio-temporelles).

Mais il faut faire un autre pas vers l'abstraction mathématique. La générativité mathématique s'empare d'un paradigme constitutif du sens, l'étend en empruntant, si nécessaire, l'idée d'une pratique conceptuelle apparemment sans rapport avec lui et synthétise ainsi un nouvel univers conceptuel et physique. Comme, par exemple, l'idée d'appliquer en physique la « compacification » de la ligne des nombres réels : on prend la droite réelle, infinie, et on la transforme en un cercle, un compact, en ajoutant un point. Par ce biais, on passe de 4 dimensions (3 plus le temps) à 5, mais cette cinquième dimension est un « dérivé » mathématique de l'action lagrangienne attachée à des objets situés dans des champs, à la fois, électromagnétiques (classiques, c'est-à-dire non-quantiques) et gravitationnels (unifications des équations de Maxwell et d'Einstein) : les propriétés physiques imposent que cette nouvelle dimension de l'espace soit « compacifiée » (repliée sur elle-même en un cercle ; théorie de Kaluza-Klein)⁸. Les principes géodésiques et les symétries sont conservés : les observables ne changent pas, car la cinquième dimension structure l'espace en dehors de l'observabilité, elle est une pure conséquence de la générativité mathématique des formalismes.

Toutefois, cette nouvelle dimension contribue à l'explication, car elle permet d'unifier des théories qui étaient très distinctes et elle préserve exactement les invariants (énergie, moments...) au cœur des deux approches. La géométrie

6. Habilitation, Göttingen, 1854 ! Souligné par nous.

7. BAILLY et MOSSERI, 1999 ; BAILLY, 2003.

8. Voir, p. ex., LICHNEROWICZ, 1955.

nous fournit le nouvel espace de l'intelligibilité physique et, par cette géométrisation de la physique, les mathématiques jouent un rôle d'une extrême puissance explicative : elles proposent en fait les modèles d'espace et de temps qui encadrent les phénomènes physiques et leur donnent un sens⁹. Ce faisant, elles jouent au plus haut degré leur rôle « normatif » par rapport à l'analyse physique.

Ces mathématiques ne sont pas « déjà données », mais elles se constituent dans l'interface entre nous et le monde, elles l'organisent. En revenant aux géométries non-euclidiennes – dont celle de Riemann a permis la (ré-)organisation relativiste de la physique – observons que Gauss, Lobatchevski et Riemann visent, grâce à la géométrie, à faire une « nouvelle physique », et ils le disent explicitement. Ils ne se limitent pas à nier par un simple jeu formel le cinquième axiome d'Euclide, comme la caricature formaliste veut nous le faire croire. Riemann, en particulier, travaille dans le but explicite d'unifier électromagnétisme, chaleur et gravitation par « voie géométrique¹⁰ ». Il pense – comme les autres – que l'éther est coextensif à, en fait constituant de, l'espace, en tant que « médium » parfaitement élastique et sans masse. C'est pour cette raison qu'on peut imaginer les corps physiques dans l'espace comme plongés dans un « fluide » élastique qui se déforme avec les « forces cohésives » ou à cause de leur propre présence. L'éther, une notion qui fut ensuite considérée comme erronée, peut avoir aidé à concevoir une idée de l'espace profondément originale et moderne : un espace qui possède une courbure non-nulle (et même variable), qui se façonne autour et avec les objets physiques (et leur « énergie-impulsion »).

La relativité nous donne en fait un des plus beaux exemples de « constitution phénoménale » : en partant de quelques régularités du monde, le plus stable et le plus cohérent de nos langages – les mathématiques –, elle reconstruit, quant au monde, une structure des objets, de l'espace et du temps qui se situe dans un ajustement réciproque permanent, le monde continuant à « faire friction », à imposer de nouvelles régularités, à écarter certains modèles.

Physique quantique

Les théories de type relativiste nous proposent un espace-temps comme dimension externe aux objets physiques, visant à comprendre ces derniers comme des singularités dans un univers où leur comportement serait régi par des géodésiques. Et, dans ce cas, leur phénoménalité ne serait rien d'autre que la stabilité mathématique des invariants attachés à ces géodésiques. La mécanique quantique ajoute au repérage externe (dans un espace de Minkowski),

9. KAKU, 1994.

10. RIEMANN, 1854 ; BOI, 1995 ; TAZZIOLI, 2000.

dont les invariants principaux sont conservés, un *référentiel interne* (où s'expriment les nombres quantiques et leurs propres invariants). Ce référentiel interne est essentiel, car l'atomicité de l'approche ne fait pas tant référence à des « objets tout petits dans l'espace » qu'à une atomicité des *processus*, dont la constitution est l'évolution des champs. Plus précisément, la constante de Planck n'induit pas que l'univers est fait de « petites boules minimales », car sa dimension est une action (une énergie multipliée par un temps). Ce sont donc les variations énergétiques dans le temps qui sont « discrétisées », et non pas la structure de la matière, ni de l'espace-temps : l'espace et le temps restent continus, comme en relativité¹¹, et, à certains égards, il en va de même des champs quantiques, même s'ils se comportent de façon différente des champs classiques.

Toutefois, l'unification mathématique des champs quantiques et du champ gravitationnel est loin d'être accomplie, bien que les espaces globaux, ou externes, puissent se mêler profondément aux espaces locaux, ou internes : par exemple, les particules, en tant que champs, nous donnent des effets de non-localité époustouffants du point de vue de l'intuition. Comme saint Antoine, les quanta¹² peuvent se trouver simultanément dans des endroits bien éloignés de l'espace externe. Mais il ne s'agit pas de magie : les champs de matière ne sont pas « locaux », ils ne se réduisent pas à des singularités de l'espace-temps, comme en relativité générale. Et la matière elle-même est un champ (de fermions). Sur ce sujet, le débat, centré sur les rapports entre espaces internes et externes, a été et reste très vivant, depuis le paradoxe Einstein-Podolski-Rosen des années 1930, qui a apparemment opposé la relativité générale à la physique des quanta¹³. En bref, la mécanique quantique, qui, dans une première approche, semblait n'apporter aucun élément nouveau et essentiel dans la détermination théorique de l'espace externe, introduit néanmoins une problématique très nouvelle (et très contre-intuitive) en matière de *localité*. D'une part, les lois physiques demeurent locales au sens

11. En termes mathématiques, l'espace-temps externe constitue la base des « fibrés » (espaces dérivés par une généralisation de la notion d'inverse des « projections » cartésiennes), qui organisent l'espace-temps interne. Or, l'espace-temps externe de la physique quantique, considéré comme base du fibré de référence, présente en général une topologie continue, conforme aux représentations classiques de la relativité restreinte. Les processus discrets – tels la quantification de l'énergie ou les états de spins par exemple – concernent les dimensions supplémentaires.

12. Nous utilisons le terme de quanton pour désigner les objets quantiques, dont on sait qu'ils sont susceptibles de se manifester sous des aspects « particuliers » ou « ondulatoires » selon la nature des expériences mises en œuvre pour élucider leurs propriétés (pour le dire de façon imagée, selon les questions qu'on leur pose).

13. Au sujet de l'hypothèse d'« incomplétude » de la physique quantique et une analyse comparative entre les différentes notions de « complétude » en logique et en physique, voir BAILLY et LONGO, 2003.

où les évolutions entre les mesures sont gouvernées par des équations aux dérivées partielles ; d'autre part, les propriétés des amplitudes de probabilité associées aux vecteurs d'état (nombres complexes, principe de superposition) engendrent une non-séparabilité quantique, liée à la mesure et corroborée par l'expérience (inégalités de Bell, expériences d'Alain Aspect), affectant des quantons ayant interagi dans le passé¹⁴.

Malgré l'absence d'unification théorique, il y a des invariants mathématiques qui se transfèrent du local au global, et *vice versa* : par exemple, le changement global d'univers de repérage ne change pas la charge électrique ; certaines mesures sont invariantes localement et globalement (théories unifiées de jauge) et les champs eux-mêmes peuvent être associés à des invariances de jauge locale. Mais ce sont les théories de la « supersymétrie » qui tendent le mieux à raccorder les espaces internes et externes : dans ces théories, aux quatre dimensions relativistes on en ajoute d'autres, sur le mode de la compacification de Kaluza-Klein. Toujours dans le but de préserver autant que possible les symétries spatio-temporelles (et leurs significations énergétiques), les théories récentes de la cosmologie quantique, tentatives très audacieuses d'unifier les théories mentionnées ici au niveau du big-bang, représentent l'espace comme une variété à dix dimensions : l'univers se réorganise, dans ce cadre, comme un espace mathématique où quatre dimensions se dilateraient, correspondant à l'expansion de notre univers observable, tandis que la compacification des autres dimensions renverrait à la structuration mathématique de propriétés de matière (champs fermioniques) et d'interaction (champs bosoniques).

Il faut mentionner aussi le rôle possible pour la géométrie joué par la non-commutativité des mesures quantiques (position/moment-position), une différence fondamentale par rapport aux approches classiques et relativistes. Or, à partir en particulier des travaux d'Alain Connes, une unification très prometteuse et par voie géométrique est proposée : l'idée de base consiste à reconstruire la géométrie (topologie, géométrie différentielle...) en introduisant l'algèbre non-commutative des mesures (algèbre d'Heisenberg), au lieu des algèbres commutatives usuelles¹⁵. Encore une fois, la (re-)construction géométrique de l'espace, a pour effet de rendre intelligibles les phénomènes physiques.

Systèmes de type critique (dynamiques, thermodynamiques...)

D'une façon générale, les théories physiques de « type critique » traitent des phénomènes critiques, c'est-à-dire de phénomènes dont le comportement

14. Ce sont notamment des traits de cette nature qui ont nourri des approches plus holistiques, comme celui de l'univers impliqué à la Bohm, voir BOHM, 1987.

15. CONNES, 1990.

dépend de paramètres de contrôle (comme la température, par exemple, ou des champs appliqués) et qui selon la valeur de ces paramètres présentent des discontinuités ou des divergences de certaines grandeurs physiques (comme dans la solidification d'un liquide) ou des transitions progressives entre ordre et désordre (transition para-/ferro-magnétique), ou encore des changements qualitatifs de régimes dynamiques (bifurcations, passages de cycles au chaos, etc.). Pour le dire de façon ramassée, il s'agit donc des théories générales des transitions de phases. Pour aborder la question du statut de l'espace et du temps dans ces théories, il faut distinguer entre deux classes de théories : premièrement celles, dont les systèmes qu'elles traitent, comportent un nombre très élevé de degrés de liberté et dont l'espace de phase est donc très grand (thermodynamique, physique statistique) ; elles engendrent les premières problématiques relatives à la réversibilité et à l'irréversibilité temporelles ; secondement, celles qui, traitant de systèmes dynamiques non-linéaires, peuvent ne présenter que très peu de degrés de liberté et dont les propriétés (bifurcations, complexification, attracteurs étranges, etc.) sont précisément associées à ces non-linéarités (que ce soit dans le cadre continu d'équations différentielles ou dans celui de procédures itératives discrètes) ; elles aussi posent, mais dans des termes un peu différents, les questions de la réversibilité et de l'irréversibilité. Dans tous les cas, et contrairement aux types de théories antérieures où l'on se situe principalement dans un univers relativement régulier, mathématiquement parlant, l'attention, ici, se concentre donc plus sur les singularités des systèmes physiques rencontrés que sur leurs régularités. D'un point de vue qualitatif et conceptuel, et en rapport bien évidemment avec les processus de complexification qui en découlent, on y trouve aussi des rapports étroits avec la théorie des catastrophes¹⁶ et la géométrie associée.

On remarquera que, dans tous les cas traités par ces théories de type critique, on fait apparemment retour à des conceptions beaucoup plus classiques de l'espace et du temps que celles que nous avons rencontrées dans les types antérieurs de théories physiques. En particulier, l'introduction d'espaces à grand nombre de dimensions (comme les espaces de phase de la mécanique statistique) n'a, dans un premier temps, pas le même caractère déterminant et constitutif que les espaces-temps considérés précédemment. Néanmoins, ces théories font surgir de nouvelles approches pour la connaissance physique, relatives cette fois à des aspects plus particulièrement morphologiques et globalisants d'une part (pour l'espace) et évolutifs et directionnels (pour le temps) de l'autre.

De nombreux autres traits caractérisent ces systèmes. Il faut, tout particulièrement, en souligner un : le rôle souvent globalisant des structures qui y sont impliquées. Si on prend le « plus simple » des systèmes dynamiques, trois

16. THOM, 1980.

corps dans leurs propres champs gravitationnels, c'est son « unité » qui empêche l'analyse laplacienne de ce système : on ne peut pas connaître (prévoir) la position, la vitesse, etc., de chaque corps sans analyser, en même temps, les mêmes paramètres pour tous les autres. Ils sont corrélés par les champs gravitationnels mutuels de sorte que le « tout », sorte de figure qui évolue dans le temps, détermine le comportement de ses éléments. La stratification conceptuelle ou mathématique (analyser un corps, puis deux corps... ou l'approximation par séries de Fourier) n'est pas possible : c'est bien cela qui empêche la complète prédictibilité, au sens de Laplace. Car, pour Laplace, comme nous l'avons dit, une fois donné un certain niveau d'approximation des conditions initiales, on aurait dû pouvoir prévoir le futur du système, à tout instant, avec une approximation du même ordre de grandeur. Au contraire, des systèmes dynamiques suffisamment complexes (trois corps plutôt que deux...) présentent des divergences, voire des discontinuités par rapport aux paramètres de contrôle. La non-linéarité de la représentation mathématique exprime l'unité intrinsèque de ces systèmes.

Bien évidemment, il s'agit de systèmes à analyser dans l'espace et le temps. En fait, les systèmes dynamiques se donnent souvent leur propre temps et d'une façon « péremptoire » : en tant que manifestant des transitions de phase, ils imposent, par leurs bifurcations structurelles (en particulier, de formes dans l'espace), ainsi que par le passage de cycles au chaos, une évolution et une directionnalité du temps, ce qui n'est pas toujours le cas pour les autres théories physiques. Le temps est scandé par les transitions de phase et, d'une façon irréversible, par les bifurcations et les passages au chaos. Or, cette essentielle irréversibilité du temps se différencie nettement de la vision du temps « épiphénomène réversible », typique de la relativité, et elle semble bien plus correspondre au temps du vivant (si fortement marqué par les phénomènes thermodynamiques, entre autres). Il est évident que l'irréversibilité du temps dans les théories de type critique, des systèmes dynamiques à la thermodynamique, se couple à l'imprédictibilité ou aux comportements chaotiques de ces systèmes.

Dans cette partie, nous avons très brièvement examiné certains aspects de la « géométrisation » de la physique moderne. Les mathématiques de l'espace et du temps ont constitué un outil de compréhension, en tant qu'« organisateur » des phénomènes, ainsi que d'unification de niveaux et d'aspects phénoménaux différents. L'épistémologie et les mathématiques s'y trouvent profondément mêlées, dans un regard qui restitue toute sa centralité au problème de l'espace et du temps.

En particulier, relativement au problème de l'unification des théories physiques, on a très rapidement mentionné l'unification (non-quantique) entre électromagnétisme (régé par le groupe de Lorentz-Poincaré) et la gravitation (relativité générale, régée par le groupe des difféomorphismes). Dans ce cas, l'ajout d'une cinquième dimension permet de décrire les trajectoires des

particules massiques et chargées – accompagnées des champs correspondants – comme géodésiques. Il s'agit donc bien là des conditions spatio-temporelles d'une unification théorique de phénomènes apparemment très distincts.

De même, nous avons mentionné le fait que des symétries nouvelles (des « supersymétries ») spatio-temporelles, en un sens large, associées à des super-espaces permettent d'articuler les espaces externes et internes des phénomènes quantiques, voire de l'ensemble des théories actuellement connues.

Du point de vue épistémologique, la visée unificatrice de ces théories physiques conduit ainsi à construire des espaces inhabituels, dont la pertinence est ensuite corroborée par des vérifications expérimentales. Cela inverse la démarche qui, depuis les évidences expérimentales de l'invariance de la vitesse de la lumière ou de la structure du champ magnétique (équations de Maxwell), avait imposé le recours aux espaces-temps relativistes. Puis, tout récemment, se produit une sorte de retour de balancier, ou de nouvelle intégration des deux démarches : la géométrie non-commutative est imposée par la mesure quantique et nous propose une géométrie peut-être encore plus éloignée de celle du monde sensible.

En fait, la géométrie organise notre rapport à l'espace. Elle en est une organisation mathématique, qui unifie une variété d'expériences pratiques et théoriques. Si la mesure (l'accès à l'espace) se base sur des outils, des instruments, bien différents de nos sensations, il s'ensuit une reconstruction de nos espaces nécessairement différente de la géométrie que ces dernières nous suggèrent. La « courbure » des trajectoires lumineuses est un résultat de la mesure en astrophysique, elle n'appartient pas à nos sensations. La géométrie de l'univers se construit alors sur des géodésiques apparemment inhabituelles pour notre expérience sensible. La non-localité des phénomènes quantiques découle de mesures microphysiques, qui n'ont rien à voir avec notre regard physiologique. La géométrie elle-même se construit possiblement sur des structures mathématiques où les points classiques ne sont plus la notion de base¹⁷.

D'ailleurs, la généralisation euclidienne – par des homothéties – des expériences sensibles à toute dimension et grandeur physiques n'était pas moins arbitraire : les lignes droites, les points sans dimensions... n'existent pas non plus. On les remplace donc par d'autres abstractions qui « collent » mieux aux évidences expérimentales et à nos nouveaux outils de mesure.

Il faut enfin ajouter, à propos des théories de type critique, que le traitement qu'elles proposent de l'espace et du temps (transitions de phase, passage des cycles au chaos...) ajoute des éléments importants aux autres théories, surtout en vue de certaines théories cosmologiques récentes (modèles de transition de phase associés au big-bang, singularités et cordes cosmiques, par exemple) et

17. Cf. la théorie des cordes et supercordes.

du traitement des relations entre le local et le global. De ce fait, elles constituent un pont privilégié, et ce depuis longtemps, avec les sciences du vivant et, sans craindre de franchir d'une foulée un grand nombre de niveaux d'organisation intermédiaires, avec leurs « épiphénomènes » critiques : les phénomènes cognitifs.

Francis BAILLY et Giuseppe LONGO

II. – SUR L'ESPACE ET LE TEMPS BIOLOGIQUES, SUR LES CONCEPTS GNOSÉOLOGIQUES D'ESPACE ET DE TEMPS DE LA PHYSIQUE À LA BIOLOGIE

LE CHAMP DU VIVANT

Giuseppe LONGO

Une toute première étape dans la discussion des phénomènes de la vie et de leur rapport aux mathématiques de l'espace et du temps peut se fonder sur l'analyse de la temporalité particulière qui est celle du vivant. Nous avons déjà parlé de l'irréversibilité du temps au cœur des systèmes de type critique ou dynamiques. Or, il ne fait pas de doute que l'irréversibilité du temps est tout à fait inhérente au vivant. À tout instant, la phylogenèse et l'ontogenèse sont marquées par des « bifurcations » et par une émergence de phénomènes et de structures non prédictibles qui ressemblent aux phénomènes observables dans les systèmes de type critique, ou les incluent, mais vont bien plus loin qu'eux. Ou, plutôt, tout vivant inclut un grand nombre de systèmes de type critique : dynamiques, thermodynamiques, etc. Cela ne contribue pas seulement à l'irréversibilité du temps de ces systèmes, mais aussi à cette unité qui s'annonce au moins dans certains systèmes dynamiques et que nous évoquions plus haut : les trois corps de Poincaré, dans leur unité très simple, forment une toute primitive « *Gestalt* » associée à une pure interaction gravitationnelle (deux corps ont un tout autre « comportement », stable et prédictible, que trois : ainsi semble se mettre en place, en passant de deux à trois corps, la plus élémentaire des émergences, cette unité des interrelations non stratifiables).

Gestalt, unité systémique, irréversibilité du temps... Mais je voudrais aborder ce monde du vivant, qui nous concerne de près même sans être biologistes, par une remarque de Francis Bailly. Elle nous permettra de mieux « classer » trois formes (mathématiques) du temps, dont la dernière pourra nous rapprocher de l'analyse du vivant. Cette remarque fait référence à une distinction, proposée dans le cadre de mon analyse des fondements des mathématiques, entre « principes de construction », en particulier géométriques, et « principes de preuve » logiques et formels¹⁸ : les mathématiques se construisent grâce à ces deux types de principes et se fondent sur les deux. La monomanie philosophique du logicisme et du formalisme a exclu les premiers, dans un « tournant

18. LONGO, 1999a et 2002a.

linguistique » qui a marqué le siècle, nous a donné des machines logico-formelles extraordinaires, les ordinateurs digitaux, et a poussé à l'extrême le mythe de la mécanisation complète des mathématiques, voire de toute forme de connaissance (ou de « l'esprit », comme disent certains philosophes).

Selon moi, les phénomènes d'incomplétude mathématique des systèmes logico-formels sont dus à une « brèche » (un « *gap* ») entre ces deux types de « principes » : les constructions conceptuelles basées sur les régularités spatio-temporelles ont une autonomie, une indépendance essentielle par rapport aux descriptions formelles (dans le sens précis de la logique mathématique, « à la Hilbert » pour être précis – malheureusement, les physiciens appellent souvent « formalisation » toute « mathématisation » ; pour nous, logiciens, ce sont deux choses bien différentes : il y a l'incomplétude gödélienne – et bien plus aujourd'hui – entre les deux !). Cette distinction – principes de construction géométriques et principes de preuve algébrico-formels – est, pour ma part, un des éléments de cette approche qui souligne également le rôle constitutif de l'espace et du temps (leur « géométrie ») dans l'analyse de la cognition.

Or, dans ce message électronique récent, Bailly écrivait :

« Les termes d'espace et de temps, de spatio-temporel, semblent bien n'avoir pas tout à fait la même signification, ni non plus jouer le même rôle, selon les deux approches principales ("géométrique" et "algébrico-formelle") que tu as dégagées.

« Dans l'approche "géométrique" l'espace est le corrélat de la géométrie elle-même, il intervient dès le niveau perceptif. Le temps est celui de la genèse des structures, de l'histoire des processus de constitution.

« Dans l'approche "algébrico-formelle", par contraste, la spatialité renvoie à l'inscription linguistique abstraite, à celle de l'écriture symbolique, et la temporalité semble bien être principalement celle du fonctionnement séquentiel, celui de l'algorithme de calcul proprement dit. »

Voici donc ce temps de l'algèbre et des calculs formels qui se réalise dans les algorithmes, voire dans les ordinateurs séquentiels, qui ont été le fruit le plus important de cette vision formaliste des fondements des mathématiques. Le mariage, dans les années 1930, entre d'une part le formalisme hilbertien et les problèmes qu'il posait (complétude et décidabilité des systèmes formels) et, de l'autre, le mécanisme positiviste, est à l'origine de cette projection de la rationalité humaine sur des machines formidables, infatigables exécutrices d'algorithmes formels.

Mais cet oubli des mathématiques de l'espace, qui en outre produisent leur propre approche du temps (le temps de la genèse des structures), a gravement diminué l'importance de l'analyse de nos formes de connaissance, une fois que l'approche algébrico-formelle – et ses machines – a été « plaquée » sur la cognition humaine (ou, presque pire, animale : les hommes, en effet, utilisent aussi logique et calcul formels, ce qui, par leur biais permet donc de saisir au

moins *une partie* de l'entendement humain, cela est bien moins évident pour les autres êtres vivants...). Qui plus est, ce qui ne manque pas d'être un retour historique intéressant, on ne peut même plus aujourd'hui étudier – voire construire – des ordinateurs, sans un regard nouveau sur l'espace et le temps, sur leur structuration géométrique, car les systèmes distribués, concurrents, asynchrones posent d'emblée des problèmes spatio-temporels, tout à fait étrangers aux « machines de Turing » (et au lambda-calcul, aux fonctions récursives...), qui ont dominé la théorie de la calculabilité (et de la programmation), des années 1930 jusqu'aux années 1980 (et dont les très intéressantes mathématiques ont constitué mon activité scientifique principale).

Voici donc posé le problème du *temps de la genèse des structures, de l'histoire des processus de constitution*. Ce temps qui implique l'espace, et qui pose donc problème à l'informatique d'aujourd'hui, comme à la physique. Est-ce là aussi l'un des aspects du nouveau rôle de la géométrie dans l'analyse de la cognition ? Est-ce le temps distribué des processus constitutifs ?

Que dire, en fait, du vivant, qui n'existe que dans l'espace et le temps ? des écosystèmes qui s'organisent dynamiquement ? Leur genèse est tout d'abord une genèse de structures, des protéines à la morphogenèse de l'éléphant... Leur temps est marqué par l'histoire du processus de constitution.

Irréversibilité dynamique, *Gestalt*, unité systémique... : que deviennent-elles ces formes de la temporalité chez le vivant, ce vivant qui *agit* dans l'espace ?

TROIS FORMES DU TEMPS

Il y a en fait, dans les remarques ci-dessus, l'esquisse de deux façons de constituer le temps phénoménal. Un temps « phénoménal », car il est *construit* entre nous et le monde, élément constitutif de nos formes de connaissance d'un réel qui est là, mais qu'il faut organiser pour qu'il soit intelligible. Le temps dont nous parlions n'est pas seulement le temps « vécu », mais aussi le temps raisonné, le temps des sciences physiques, de leur organisation, si changeante au cours du parcours historique de notre entendement du monde. Ce temps, à l'objectivité remarquable (mais pas absolue) de la coconstruction/organisation du « je » cognitif et du monde, est enraciné dans des régularités que nous voyons dans le monde, qui sont là, mais dont l'explicitation et l'objectivité scientifique sont constituées dans l'intersubjectivité et dans l'histoire. Il nous faut revenir plus précisément sur ces deux formes du temps phénoménal afin d'en proposer une troisième.

La toute première forme, algébrico-formelle, est celle des horloges mécaniques, ces mêmes horloges que l'âge des Lumières nous proposait comme modèle possible pour l'entendement ou qui, plus tard, sera le temps de la machine de Turing. Celle-ci scande le temps par ses mouvements « à droite, à gauche »,

tic tac, horloge absolue. Rien ne se passe entre un mouvement à droite, un autre à gauche, rien n'est dit de leur « durée » : ils sont la « mesure du temps en soi ». C'est le temps du mythe, propre à la poésie grecque. Bernard Teissier suggère une analogie : pendant la guerre de Troie, le temps est scandé par les sorties d'Achille de sa tente ; Achille sort de sa tente, quelque chose se passe (la guerre), il rentre dans sa tente, tout s'arrête : le temps s'arrête. Achille sort encore de sa tente. ..., voilà la scansion du temps : il n'y a pas d'autre mesure, il est l'absolu du temps mythique. Troie et la guerre sont hors du monde, ils sont dans le mythe ; leur temps contribue à un extraordinaire effet poétique. Turing n'est pas allé plus loin, car le temps des formalismes des années 1930 est le temps algébrique-formel, cet absolu de la machine sans espace, le « calcul en soi », un pas après l'autre, dans le vide. En fait, ce temps est « sécrété » par l'horloge.

Mais la pensée grecque, dans sa profondeur, nous propose aussi une autre forme du temps : Kronos, fils d'Ouranos. Kronos est le temps « vrai », physique, dérivé du chaos ; c'est la « pagaille » du monde réel : il dévore ses enfants. Voici donc une deuxième forme possible du temps physique, celui qui s'insère bien dans l'analyse des systèmes de type critique. Il est un temps dans l'espace. Au cœur de son déroulement, il y a la géométrie des systèmes dynamiques : le temps est scandé par leurs bifurcations, par les passages vers le chaos et par toute structuration spatiale irréversible. Il est le temps de « la genèse des structures », de l'histoire des processus de constitutions, car une bifurcation, une catastrophe, peut dépendre de toute son histoire et pas seulement de la situation à un instant donné.

Analyser ce temps comme un continu linéaire, la droite des nombres réels, est très commode, on ne peut faire mieux dans maints contextes, mais il faut rappeler ici la grande insatisfaction d'Hermann Weyl dans *Das Kontinuum* (1918) : le continu des nombres réels est une mathématisation très insatisfaisante du temps. Ses « points » ne peuvent pas être isolés comme les points de la droite dans l'espace, car le présent coexiste avec le passé et le futur, il n'a pas de sens sans eux. Quand on essaye de le saisir, d'isoler le présent en un point, il n'est plus là. Weyl, un des plus grands mathématiciens de la relativité, comprend les limites de la vision du temps comme « épiphénomène », pourvu de la même structure que le continu de l'espace, qui est au cœur de l'approche d'Einstein. De plus, le temps est irréversible et sa réversibilité, due aux équations de la physique relativiste, n'a rien à voir avec le temps phénoménal, ce mélange de temps vécu et de temps raisonné.

Au moins pour ce qui concerne l'irréversibilité, le temps des systèmes de type critique ou dynamiques paraît donc plus adéquat que celui de la relativité (et peut-être que celui de la physique quantique, où, de fait, il joue un rôle moins important). Il est clair, que ce temps n'a de sens que dans l'espace (comme celui de la relativité) : premièrement, les bifurcations, le chaos se présentent dans l'espace, deuxièmement, il n'existe pas *le temps* d'un seul

système dynamique isolé, avec une « linéarité » de ses bifurcations, car ce système n'existe pas. La genèse des structures s'opère en parallèle et dans l'interaction d'une pluralité de structures et de systèmes, dans l'espace. Tout au plus peut-il y avoir un temps moyen, statistique, comme au sens relativiste de Weyl¹⁹.

Toutefois, il y a des exceptions apparentes à cette immersion de notre deuxième forme du temps dans l'espace : on pourrait dire que les langues vivantes, sans référence à l'espace, ont aussi histoire et temporalité... Mais, les langues *sont* dans l'intersubjectivité : la pluralité des sujets actifs, dans l'espace, les rend possibles. Encore une fois, on a, même dans les langues historiques, un phénomène d'interaction spatiale entre systèmes : les êtres qui se parlent et qui évoluent avec leur propre dynamique. Cette dynamique n'est jamais isolée, elle n'aurait pas de sens dans l'isolement, où la langue ne serait pas : elle est toujours entre les hommes, dans l'écosystème d'un groupe d'hommes et souvent en friction avec d'autres langues.

Pour plus de précision, il faut ajouter qu'une des formes du temps physique la plus expressive est, à mon avis, celui de la genèse des structures dans l'espace ; son enjeu principal est l'interaction entre systèmes dynamiques et distribués ; en fait, leur *synchronisation*. C'est dans ce cadre que l'on tombe sur l'autre enjeu, qui nous est posé, entre autres, par la physique de la relativité. Il peut y avoir « asynchronie », mais, dès qu'il y a interaction, il peut y avoir ou pas de synchronisation, mais, en tout cas, le problème de la synchronie est au cœur de l'interaction. En informatique, ce problème fait partie intégrante des analyses de la « concurrence » entre processeurs distribués dans l'espace ; en physique relativiste, il est celui de l'échange de messages entre systèmes soumis à différentes accélérations. Aujourd'hui, dans les réseaux d'ordinateurs, les deux problèmes se mêlent (qu'Achille, la machine de Turing et leur temps *requiescant in pace*).

Après le temps du mythe, parodie poétique du temps, comme les Grecs le savaient très bien, il y a donc le temps physique le plus structuré, celui de la pluralité des systèmes dynamiques, distribués et concurrents (ou qui interagissent), avec leurs temps propres, locaux, à synchroniser si nécessaire. Il n'y a pas de temps, sans (le problème de) l'asynchronie/synchronie : c'est-à-dire, il n'y a pas de temps sans asynchronie, car elle est inhérente à toute interaction « réelle » entre systèmes, dans un univers qui n'est pas purement « local » ; le problème de la synchronie se pose toujours, même quand elle est cherchée, forcée et, souvent, obtenue. Selon moi, c'est le meilleur temps que l'on puisse proposer aujourd'hui pour le monde physique : un temps enrichi par la phénoménologie relativiste et par celle des systèmes dynamiques (en particulier quant à l'irréversibilité), un temps essentiellement relationnel. Non seulement

19. DORATO, 1995.

le temps newtonien absolu n'a pas de sens, mais il n'est pas un « temps » : l'horloge absolue ou la machine de Turing, isolés dans un univers vide, ne constituent pas un temps. Ils seraient comme le mètre-étalon de Sèvres isolé dans un univers vide : il n'y a pas de distance dans cet univers, il n'y a que le mètre.

Il y a toutefois une autre forme du temps à discuter, la troisième, un temps possible pour la biologie. Encore une fois, ce temps dont je parle est un temps phénoménal ; il superpose « vécu » et « raisonné » ; il est constitué, dans notre acte de l'expérience du monde, par nos propositions actives qui essayent de le rendre intelligible. Il est dans le vécu, entre nous et le monde, il en résulte, ce qui est essentiel à sa compréhension, qu'il résiste à nos *tentatives* de le comprendre. Il n'est pas « déjà là », toutefois il n'est pas arbitraire non plus, car les régularités que nous utilisons comme référence pour proposer un discours sur le temps sont bien « là », mais c'est nous qui « choisissons de les voir ».

En biologie, en effet, les choses se compliquent encore par rapport à la physique, et l'on est obligé de s'éloigner encore plus de l'idée que notre cerveau, tout le vivant en fait, est une machine logique ou programmable, de Turing pour ainsi dire, un peu compliquée et mal ficelée (nous sommes si lents à faire des inférences formelles et des multiplications à quatre chiffres...).

Tout d'abord, le vivant s'impose dans son unité et ses temps propres, par l'autonomie des horloges biologiques que Bailly présentera en détail dans la suite. Une autonomie bien plus forte que celle de toute horloge dans le monde physique, car le vivant « nous agresse » par son unité individuelle, il impose activement sa présence, son temps.

Dans le temps physique, la deuxième forme mentionnée plus haut (dynamique et relationnelle), la situation présente et future d'un système, du réseau interactif des systèmes qui constitue le monde, dépend « seulement » de la situation passée (l'histoire) du réseau lui-même. Mais la situation se fait encore plus « interactive » chez le vivant.

D'une part, comme on le verra, il y a des horloges « autonomes » propres à l'individu vivant : le temps de son métabolisme, en fait, avec ses temps rythmés (battements cardiaques, respiration...) ; des « nombres absolus », par-delà les espèces, pour un phylum très vaste (les mammifères, par exemple). Bien évidemment, ces horloges sont loin d'être isolées : elles règlent des fonctions en permanent échange avec l'extérieur, leur raison d'être est « l'interaction réglée », si typique du vivant.

D'autre part, il y a le temps de l'action dans l'espace de ce même vivant, une action marquée par ses buts, tout au moins celui de la survie. Avant d'y venir, résumons les éléments qui s'ajoutent au temps physique – car le temps physique reste là, bien évidemment, sous-jacent à tout être vivant dans le temps et l'espace (physiques). Nous sommes en train de considérer au moins deux autres composantes du temps :

- le temps local de chaque individu vivant, ses horloges internes, qui se rétablissent même après toute interaction tolérable qui ait pu les affecter ; des horloges aussi qui existent, justement, pour permettre et régler l'interaction ;
- un temps global où les bifurcations possibles se déterminent aussi en fonction des « choix », pour survivre, que le vivant fait à tout instant dans son milieu.

Cette seconde composante du temps biologique dépend donc des « attentes » du futur possible. L'intentionnalité marque l'évolution du temps du vivant, une intentionnalité selon moi aussi préconsciente, comme celle de l'amibe qui va dans une direction pour préserver ou améliorer son métabolisme : ce « geste » dans l'espace et le temps est une des formes les plus élémentaires de « choix » dans la constitution de « bifurcations », de parcours possibles, dans l'espace et le temps. Chez les organismes complexes, ce choix se fait sur la base d'une attente explicite (voire consciente) du futur : il dépend donc d'un futur possible ou des possibilités considérées pour le futur²⁰.

Il doit être clair que l'intentionnalité fait référence ici tout d'abord au « finalisme contingent » propre à la vie, elle est donc une « intentionnalité contingente ». Il n'y a pas d'individu vivant, ni d'espèce, sans une finalité implicite, celle de survivre ; mais cette finalité n'est pas métaphysique, elle est immanente et *contingente*, elle pourrait ne pas être – si elle n'était pas, ni l'individu ni l'espèce en question ne survivraient longtemps. Elle est essentielle à la préservation de l'individu – à partir du métabolisme de la cellule – et de l'espèce et s'organise d'une façon très complexe dans tout individu multicellulaire, où elle impose des formes, des tentatives, de « prédiction » du futur. L'intentionnalité, dans le sens très fort d'Husserl, est plutôt une « conscience de quelque chose », de « visée », elle se dirige consciemment vers un but ; elle est donc le résultat ultime, le point d'arrivée d'un parcours constitutif dans la phylogénèse et l'intersubjectivité humaine, qui commence par le « geste dirigé », mais préconscient, de survie²¹.

Nous pouvons prendre comme exemple celui des primates (mais cela peut être valable pour nombre de mammifères au cortex visuel assez proche du nôtre). Cet exemple se situe à mi-chemin entre « l'action » de l'amibe et le geste intentionnel conscient de l'individu social (ou, même, de tout un groupe social). Quand nous faisons aller le regard d'un point à l'autre du champ visuel, par une saccade oculaire, le champ récepteur des neurones du cortex visuel pariétal se déplace brusquement, *avant la saccade*, dans la direction du mouvement du regard qui va être effectué²². Autrement dit, le cerveau, dans le but de suivre la trajectoire d'un objet ou de précéder le parcours d'un autre

20. Des remarques reprises par PAURI, 1999, vont dans le même sens.

21. PACHOUD, 1999, aussi propose d'élargir la notion husserlienne, tout en développant une approche phénoménologique.

22. BERTHOZ, 1997, p. 224.

animal dont il a compris les « intentions », déplace le champ récepteur et anticipe les conséquences du mouvement. Ce n'est qu'un exemple, parmi tous ceux que nous pourrions donner du rôle de l'anticipation du futur propre au vivant, mais il est de grand intérêt, car elle est une forme d'intentionnalité préconsciente, animale, mais très proche de nos gestes conscients ; *a fortiori*, si la visée est consciente. En fait, ce phénomène prépare les gestes en changeant la *situation biochimique* (et donc physique) des neurones, dans l'attente du futur. Une nouvelle situation est imposée à la structure biologique et *physique*, une situation qui ne dépendra, en fin de compte, non seulement de la situation présente et passée, mais aussi du futur ou de son attente (la position attendue de l'objet dans le champ visuel). Il apparaît donc que le temps chez le vivant, en tant qu'épiphénomène de l'interaction entre systèmes en évolution, s'enrichit d'une synchronisation et d'une réorganisation de ces phénomènes qui lui sont propres, grâce aux nombreux niveaux de l'intentionnalité (préconscients et conscients).

Or, Bailly développera une analogie entre la localité de la courbure dans les espaces riemanniens de la relativité et la localité des rythmes internes au vivant. Cela paraît très expressif : la courbure constante, différente de 0, fournit une échelle spatiale locale, reliée à la métrique (locale), exactement comme les rythmes métaboliques ou cardiaques paraissent donner une mesure du temps, plus ou moins régulière, mais locale, propre à l'individu, qui la partage avec son espèce et son espèce avec des phylums plus larges. Bien évidemment, il faut ajouter à cela l'interactivité du vivant : contrairement à la localité « absolue » d'une métrique-courbure de l'espace, si ces horloges locales existent dans un écosystème, leur but (leur finalité contingente) n'est pas d'isoler l'organisme mais de contribuer à sa stabilité, autant que possible, dans un milieu changeant. Elles le synchronisent avec « ses semblables » et l'aident à rétablir son équilibre, face à ce qui est « différent » : elles sont au cœur de ce jeu entre autonomie de l'organisme et hétéronomie qui est essentiel à la vie. Par contraste, la courbure constante locale fournit un invariant, un mètre localement absolu, parfait et indépendant de toute interaction : elle définit la métrique et les géodésiques locales, c'est-à-dire les courbes de longueurs minimales, indépendamment de ce qui se passe dans le reste du monde.

Si l'on résume, c'est le rôle du « finalisme contingent » du vivant dans son action et sa temporalité qui vient d'être mis en évidence. Ce finalisme, qui vise tout d'abord à garder ou à améliorer le métabolisme, se complexifie comme la vie et avec elle, influence, à mon avis, par une boucle de prévision-action, les bifurcations de l'action, qui contribuent à la constitution de l'irréversibilité du temps biologique. D'autre part, les horloges internes du vivant, par contraste avec « l'absolu local » de la courbure spatio-temporelle en physique, jouent aussi un rôle dans l'interaction : elles aident à l'établissement d'une horloge commune, elles permettent de se régler/synchroniser « sur les autres » dans l'écosystème.

LA DYNAMICITÉ « AUTOCONSTITUANTE » DU VIVANT

Bailly évoque souvent une autre image forte pour saisir la complexité du vivant. L'individu vivant, voire l'espèce, définit une zone de « criticité étendue » ; il faudrait y réfléchir plus longuement, car cela paraît un fait impossible en physique où les zones critiques sont éminemment singulières et instables. Dans cette zone, des invariants numériques scandent le temps de l'autonomie et réorganisent l'unité face à l'hétéronomie.

Quand on passe à l'espèce, dans son écosystème, le paradigme physique paraît à nouveau insuffisant. Encore une fois, les méthodes des systèmes dynamiques nous donnent des outils formidables pour une mathématique du vivant qui a beaucoup à nous apprendre, car elle suggère des questions et, parfois, donne des réponses. Toutefois, toute analyse mathématique d'un système évolutif, imprégnée de la force des méthodes développées en physique, voit l'évolution du système dans un champ figé de forces ou, tout au plus, dans un réseau de champs de forces *données*. C'est-à-dire, l'espace des phases ne change pas au cours du processus.

Soit le plus simple des systèmes classiques : une bille qui roule dans une coupe. Son champ de forces, la gravité, la structure géométrique de la coupe, les frictions, entre autres, « sont déjà là » : l'analyse des oscillations s'ensuit assez facilement. Dans le cas des systèmes dynamiques plus complexes, leur analyse mathématique peut faire référence à de nombreux champs de forces et rend la plupart des systèmes intrinsèquement imprédictibles (même si ce dernier phénomène apparaît dans des situations qui ne sont pas plus complexes que celle de la bille que nous venons de considérer : un pendule double, par exemple). Toutefois, l'analyse qualitative nous autorise des percées remarquables au sujet des évolutions possibles de ces systèmes (singularités, bifurcations, attracteurs...). Ce peut être déjà très compliqué, mais dans le cas du vivant un élément s'y rajoute encore : le champ de forces *se constitue* au cours de l'évolution. On peut passer d'un espace de phases à un autre tout à fait différent.

Si l'on considère une espèce dans son écosystème, on observe sans doute que ses interactions avec les aspects *physiques* de cet écosystème sont déterminées par les champs de forces relatifs à ces aspects (la gravitation, la physique ou chimie de l'eau, de l'air...). Mais, dans un écosystème, il y a aussi les autres êtres vivants. Ils agissent sur l'espèce en question. En fait, ils se coconstituent avec cette espèce, ils se mangent entre eux, par exemple. Et ces autres espèces ne sont pas nécessairement déjà là, ni figées, car leur existence même et leur évolution peut dépendre de l'évolution de l'espèce que l'on considère. Les êtres vivants ne forment pas seulement un champ de forces physiques donné : aucun principe physique de minimalité, aucune « géodésique » ne prédétermine complètement leur évolution. Pour l'évolution darwinienne (et l'on n'a

pas de théorie meilleure pour l'instant), elles seront tout au plus « compatibles » avec la situation qui *sera* donnée et non pas celle qui *est* donnée.

Voici donc le jeu qui se met en place et que l'évolution (néo-)darwinienne essaye de décrire comme explosion combinatoire de la vie dans « toutes les directions possibles ». C'est-à-dire, qu'aucun développement n'est prédéterminé et encore moins prédictible, sauf dans le cas de petits exemples de laboratoire, d'autant plus efficaces quand il ne s'agit que de bactéries. En général, tout développement est seulement compatible avec – et ne peut vivre qu'avec – la situation qu'il contribuera à déterminer. Dans ce cadre, la nouveauté se constitue certes à partir de la situation donnée (données génétiques incluses, bien évidemment), mais aussi en établissant des interactions qui n'ont pas de sens avant leurs constitutions. Stephen J. Gould rappelle, par exemple, le rôle énorme des « potentiels latents » : la double articulation de la mâchoire de certains reptiles d'il y a deux cents millions d'années, qui devient l'oreille interne des oiseaux. Il n'y a aucune « raison *a priori* » pour qu'il en soit ainsi ; aucun champ de force physique ni aucune donnée génétique chez ces reptiles n'*impose* cette transformation, elle est seulement possible pour l'écosystème à (co-)constituer. Et l'on ne peut le dire qu'*a posteriori*, car il aurait été impossible de le prédire, si nous avions été là à cette époque. On s'éloigne encore plus de Laplace.

Les nouveautés possibles modifient donc le champ des forces induit par le vivant, l'écosystème. C'est comme si la coupe, dans laquelle roule la bille de la mécanique rationnelle, se donnait une forme, champ parmi tous les champs physiquement possibles, en même temps que le roulement de la bille. Mais c'est peut-être même plus que cela, car la bille devrait être extrêmement plastique et, en même temps, chercher à garder son unité et son autonomie, comme le font tout vivant et toute espèce. Bref, au-delà des champs physiques, le champ biologique (l'écosystème) se coconstitue dans le temps : il *dépend* des champs physiques, il *n'y est pas réductible*, ou alors on est encore bien loin de pouvoir le réduire. La réduction, mieux, l'unification, avec la physique reste le but principal. Mais il faudra d'abord plus d'unité en physique, car on devra, probablement, rendre compte aussi, chez le vivant, des phénomènes quantiques²³ et, surtout, on devra enrichir nos concepts de « détermination », « système », etc., par un regard non préconstitué (ni basé seulement sur la force des outils physico-mathématiques existants) sur l'expérience du vivant. Mais on y arrivera, car l'on a déjà su dépasser la profondeur des mathématiques et

23. Si possible, sans raccourcis qui relieraient directement des effets « tunnel » dans les microtubules cellulaires à la notion de liberté inscrite dans les chartes constitutionnelles, non pas sur la base d'évidence expérimentale, mais sur celle d'une lecture très naïve du problème de la cohérence de l'arithmétique, voir PENROSE, 1994 ; voir FEFERMAN, 1995, pour une critique de cette « lecture » par un formaliste compétent ; voir LONGO, 2002a, pour des résultats récents au sujet de l'incomplétude en arithmétique.

des systèmes newtoniens et laplaciens par des idées radicalement nouvelles dans la physique du xx^e siècle. Notre but, pour le moment, est une analyse conceptuelle qui nous aide à mettre en évidence les analogies et les différences dans les diverses méthodes, en se focalisant sur leur rapport à l'espace.

INTERMEZZO : GALILÉE, LES FEMMES ET LES MARÉES

Afin de tenter de mieux comprendre ce que peut vouloir dire un « changement-enrichissement des concepts de détermination et de système », on peut évoquer la petite histoire d'un dialogue à distance entre Kepler et Galilée. Kepler, astronome et mathématicien extraordinaire, ne dédaignait pas, pour gagner sa vie (et pour nourrir une vraie passion), les almanachs et l'astrologie, en mélangeant parfois ses différents talents. Sur ces bases, il pensait que la Lune a de l'influence sur le caractère des femmes et sur les marées. Galilée, homme de science et vrai physicien, n'était pas d'accord : le premier problème, quoique important, n'a rien à voir avec la physique, son intérêt principal, et, quant aux marées, prétendre que la Lune, là-haut, si lointaine, puisse en être la cause, revient aussi à de la magie, de l'astrologie. Dans le « *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* », il essaye plutôt d'expliquer les marées en termes physiques, car, en fin de compte, il s'agit bien d'un phénomène physique. Et voilà le moment que l'on pourrait appeler « physicaliste » de cet immense scientifique : les marées sont dues à des phénomènes d'inertie, dans le cadre de la relativité (galiléenne). Les mouvements combinés de la Terre, rotation sur son axe et révolution autour du Soleil, causent des mouvements inertiels des eaux.

Galilée a une théorie physique formidable (inertie et relativité des mouvements), le vrai début de la physique moderne, mais il la « plaque » de force sur ce qui échappe à sa compréhension, même en absence d'évidence expérimentale (son raisonnement le conduirait à déduire une marée toutes les vingt-quatre heures) : c'est cela une erreur de méthode que, par abus de langage, on voudrait appeler physicalisme (y compris à l'intérieur de la physique elle-même). Bref, par physicalisme, on entend ici non pas la position de principe que le monde est, en fin de compte, du réel-physique, car cela est évident pour tout moniste, mais la réduction de phénomènes (du vivant, typiquement) à une théorie physique *donnée*, construite autour d'une phénoménalité physique bien précise et qui n'inclut pas, *a priori*, les phénomènes visés.

Pour le dire en termes modernes, Galilée ne dispose pas du *concept de champ* et, ce qui est plus grave, il ne se rend pas compte que quelque chose lui manque et qu'aucune mesure ne lui permet d'appliquer telle quelle sa théorie physique. Et cela est bien dommage, car s'il y avait réfléchi plus à fond, il était tellement bon que, peut-être, il aurait anticipé Newton, voire... Maxwell.

Il faudra, à vrai dire, un long parcours pour arriver au concept de champ et, ensuite, à ses mathématiques : la gravitation newtonienne, d'abord, puis le débat, très riche, sur l'électromagnétisme, au XIX^e siècle, jusqu'aux équations de Maxwell dans toute leur splendeur mathématique.

Les difficultés immenses de l'analyse du vivant (et la relative jeunesse de la biologie) donnent l'impression que, peut-être en biologie, et sûrement en sciences cognitives, on a peu dépassé le stade du débat Kepler-Galilée. Si quelqu'un observe que la phénoménalité du vivant présente des aspects qui échappent aux théories physiques courantes, il est accusé de magie (et parfois on trouve vraiment de la terminologie magique-poétique au sujet du vivant et de l'esprit). Alors, on recourt à la notion de programme déterministe, dans le sens de Laplace-Turing et on la plaque sur l'ADN, voire sur le cerveau (simple support d'un logiciel, en tant qu'ensemble de programmes). Ou bien on prend la non-localité quantique dans les microtubules des neurones et l'on y réduit la conscience. Ou, encore, on prend les systèmes dynamiques de la physique et on les utilise massivement pour les réseaux de neurones, les systèmes évolutifs.

Il y a bien évidemment des nuances très importantes entre ces différentes approches. La première frôle aujourd'hui l'arnaque, car on a depuis longtemps compris que le déterminisme de Laplace et de Turing, immenses personnages eu égard à leur temps et à leur spécialité (respectivement, la mécanique rationnelle du XIX^e siècle et l'informatique), a très peu à voir avec la physique contemporaine, encore moins avec la biologie. La deuxième est un défi à relever, mais il faut une évidence expérimentale, une correspondance entre les différentes échelles avec leurs théories physiques, des passages intermédiaires entre les activités des neurones, qui sont de très grosses machines, et le quanton, etc. ; évidences, correspondance et passages qui manquent absolument. La troisième se fonde sur, au moins, une évidence forte, à propos du cerveau : le renforcement hebbien des synapses et, plus généralement, sur l'efficacité des systèmes dynamiques dans le traitement de tout système interactif. Le progrès est remarquable.

Dans ces trois théories physiques, il y a en effet toute l'histoire, changeante, de la notion de « détermination ». Pour Laplace (et pour la programmation séquentielle des ordinateurs), déterminisme implique prédictibilité²⁴. Avec les systèmes dynamiques, le concept de déterminisme change, ou se spécifie

24. Turing, dès 1935, avait lui-même démontré que ses machines sont sujettes à une sorte d'imprédictibilité : on ne peut pas résoudre (décider) le problème de l'arrêt (on ne peut pas décider si une machine s'arrête ou pas en démarrant sur un input donné ; en fait, on ne peut décider aucune propriété « intéressante » des programmes – théorème de Rice, voir ROGERS, 1967). Toutefois, cette « imprédictibilité » se présente « à la limite » : le non-arrêt est une propriété de l'infini et les propriétés indécidables des programmes sont des propriétés de fonctions en tant que relations infinies arguments-valeurs. Au contraire, l'imprédictibilité, à la Poincaré, des systèmes physiques déterministes se présente « au niveau fini ».

mieux, car on comprend qu'il n'implique pas la prédictibilité. La physique quantique introduit une spécification ultérieure de ce concept, par dualité, en introduisant la notion d'« indéterminisme essentiel », non épistémique. En moins de deux siècles, les notions de « ceci détermine cela », de « système qui évolue dans le temps » ont profondément changé. Mais nous n'avons pas encore l'équivalent de ces notions pour la biologie : que veut dire l'énoncé selon lequel l'ADN « détermine » l'ontogenèse, ou qu'un système du vivant évolue, ou que l'état d'un système nerveux détermine ses états successifs ? Les tentatives de compréhension par le « plaquage » de nos outils physiques sont très utiles, au moins quand elles se basent sur la physique du xx^e siècle : il faut des gens qui entrent dans la cuisine et essaient de travailler avec les outils qu'ils maîtrisent, si possible dans un dialogue serré avec les biologistes. Mais, pour mieux avancer, il faut aussi savoir que nous n'avons pas encore une bonne notion (et stable) de « champ biologique », malgré les quelques tentatives intéressantes, et que nous avons encore moins des mathématiques adéquates ; tout comme Galilée n'avait pas la notion de champ physique, ni les mathématiques correspondantes.

MORPHOGENÈSE

Il nous faut revenir maintenant à notre projet plus spécifique, concernant l'intelligibilité géométrique de l'espace du vivant.

Une des analyses les plus riches de la géométrie du vivant et de son écosystème est celle qui fait référence à la morphogenèse, en tant qu'étude de l'évolution des formes du vivant et de leur influence sur la structure de la vie en général.

« La stabilité du vivant est géométrique²⁵. » Avec ce *motto*, René Thom résume un des points forts de son analyse et de ses motivations. Pour lui, la complexité topologique d'une forme est le lieu de la « signification » et de l'organisation.

Quelle que soit l'approximation qu'on se donne pour définir l'état initial, il existe un temps fini, au-delà duquel on ne peut pas prédire, mathématiquement, l'état dans lequel se trouveront ces systèmes. Malgré les résultats d'indécidabilité, la théorie de la calculabilité classique conçoit donc un processus de calcul déterministe comme « bien encadré » dans les rails d'une évolution prédictible, à tout instant fini. Le fait est que la calculabilité classique est une théorie logique, tout comme les machines de Turing sont des machines logiques, et ni l'une ni les autres ne sont des théories (des concepts) physiques : leur déterminisme et leurs propriétés d'indécidabilité sont logiques, et non physiques, et elles ne sont pas sujettes aux aléas de l'approximation physique.

25. THOM, 1972, p. 175.

Thom donne un rôle presque exclusif à la topologie, outil très riche dans ses mains, comme instrument d'analyse et de compréhension. L'évolution topologique de l'individu vivant doit expliquer sa biochimie et non pas l'inverse²⁶. La forme contient une double information : elle détermine des classes d'équivalences par rapport à des groupes de transformations fixés ; elle donne une mesure de complexité computationnelle par le nombre et l'évolution de ses singularités.

Voici donc que s'établit ce « champ morphogénétique » qui façonne le vivant, au cours de la phylogenèse aussi bien qu'au cours de l'ontogenèse. La globalité intervient toujours dans la vision de Thom : chez l'embryon, souligne-t-il, il y a d'abord le dessin global, ensuite la spécialisation des organes²⁷. Ou, comme dit Roger Jean, « *plants form cells, not cells plants*²⁸ ».

Mais qu'est-ce que ce « champ morphogénétique » ? Son nom peut induire en erreur, car il renvoie aux champs de la physique, dont on parlait : les champs gravitationnels, électriques, magnétiques. Même si on n'arrive pas (encore) à les unifier, leurs effets réciproques, leur utilisation pour comprendre et expliquer, pour prédire, sont bien établis. Encore une fois, dans un système physique, « ils sont déjà constitués », ils sont un cadre de repère mathématique bien clair.

Le champ morphogénétique contient sûrement tous ces champs physiques en même temps, *plus* les champs propres du vivant, ceux dont nous venons de parler, coconstitués par rapport au phénomène examiné. En particulier, chaque champ – physique, chimique ou biologique – agit à un certain niveau, conceptuellement indépendant de celui des autres : le niveau phénoménal – la façon dans laquelle le phénomène se présente – et sa structuration conceptuelle par nos constructions scientifiques sont nettement différents. Toutefois, l'individu vivant intègre *de facto* cette pluralité de niveaux ; son unité est surtout le résultat d'une intégration de différentes strates, physiques, chimiques, biologiques. Ces différentes composantes, analysées par des méthodes scientifiques différentes (physico-chimiques, biologiques), interagissent entre elles par des boucles spatiales et temporelles ; l'une modifie plastiquement l'autre. Or, aucune théorie physique ne sait nous donner des éléments interprétatifs ou descriptifs de ces formes d'interaction et de « contrôle réciproque » entre différents niveaux (des montées et des descentes entre le tout, l'individu vivant et ses composantes biologiques, chimiques, physiques). La cybernétique, la théorie des systèmes et du contrôle ont sûrement donné des modèles remarquables de boucles autorégulatrices, par exemple, mais ces modèles se situent à un niveau spécifique (celui des systèmes physiques) en rapport avec la force même

26. THOM, 1972, p. 175.

27. THOM, 1972, p. 223.

28. JEAN, 1994, p. 270.

de leurs méthodes physico-mathématiques, tandis que le vivant établit des boucles entre niveaux conceptuellement différents.

L'analyse de Thom, enrichie depuis par le travail de maints auteurs, saisit aussi les aspects physiques de la plasticité topologique du vivant, même ceux qui sont induits par ces interactions « verticales ». C'est une extraordinaire physique du vivant, extrêmement informative, mais une *physique*. Si, d'un côté, il faut la plasticité évolutive des espèces vivantes pour se conformer à ces champs dynamiques propres à la morphogenèse, d'un autre côté l'évolution topologique se fait selon un schéma physique qui ne rend pas compte des phénomènes dont certains sont rappelés plus haut, tels les potentiels latents ou l'explosion combinatoire de la vie dans toutes les directions « compatibles ». Mais, compatibles avec quoi ? Encore une fois, non pas avec les forces à l'instant donné, mais avec celles qui *seront* en place – voilà le problème (mathématique) que l'on décèle au cœur de la plasticité évolutive du vivant.

Il est clair, par exemple, y compris pour les auteurs qui ont contribué aux aspects les plus travaillés de la morphogenèse, telle la phyllotaxie (à l'origine : l'analyse des formes végétales), que l'on peut obtenir des formes tout à fait similaires à celles de la phyllotaxie au moyen de supraconducteurs superposés dans un champ magnétique dynamique²⁹. Par exemple, les suites de Fibonacci, que l'on retrouve partout dans les formes végétales, peuvent être reproduites sur tout treillis « *of soft objects* » sujets à des forces répulsives et soumis à des fortes déformations³⁰. Dans ce sens, ces analyses considèrent les formes du vivant dans leur être « physique », c'est-à-dire en tant que corps physiques dans des champs physiques. Bien qu'important et nécessaire, cela n'épuise pas les analyses du vivant.

La morphogenèse est aussi essentielle pour sortir du « tout génétique », autre paranoïa du « tout codé à l'avance » ou du programme de Laplace-Turing « déjà là » (si cher à un fort courant de la génétique américaine et à la prédestination protestante). Il nous aide à comprendre que le programme du vivant est « partout sauf dans les gènes » (comme dit Henri Atlan avec une provocation nécessaire) : les « *patterns* » et les formes de la phyllotaxie ne sont pas entièrement dans les gènes, elles sont dans les propriétés de l'espace, du temps, de la matière physique et de l'énergie ; les gènes ne contiennent pas toute l'information sur les symétries qui se constitueront dans l'interaction avec l'environnement, comme se constituent celles des cristaux ou des minéraux³¹. Le « programme » (ce nom si inadéquat) du développement est dans l'interface entre une mémoire phylogénétique (les gènes) et l'écosystème, physique et biologique.

29. JEAN, 1994, p. 264.

30. JEAN, 1994, p. 265.

31. JEAN, 1994, p. 266.

Un exemple de très grande importance est donné par le cerveau, qui, au cours de l'ontogenèse, présente un développement, à la fois darwinien et lamarckien. Le nombre immense des connexions possibles entre neurones (chacun des 100 milliards environ de neurones ayant jusqu'à 10 000 connexions synaptiques, voire plus) ne peut être que très peu « codé » dans les gènes. De nombreuses connexions, établies très tôt par l'explosion de la croissance dans le fœtus ou chez le nouveau-né, disparaissent par sélection³²; d'autre part, au cours de toute notre vie, les *stimuli* façonnent le cerveau en établissant de nouvelles connexions ou en renforçant, voire défaisant-déplaçant, des liens existants, sélectionnant certains neurones et pas d'autres (qui meurent). La plasticité cérébrale, à tous les niveaux, est au cœur de la continuité entre phylogénèse et ontogenèse et permet l'individuation : « La structure du système nerveux porte la trace matérielle de l'histoire individuelle³³. » La constitution des formes géométriques des réseaux de neurones est une composante typique (par sa complexité et sa dynamique permanente), mais elle n'est pas la seule³⁴, d'une genèse interactive des formes dans un écosystème où les *stimuli* sont de nature physique et biochimique et enracinent dans la matière vivante nos activités mentales. L'intelligence animale est une dynamique de formes, distribuée sur maints niveaux (des protéines, à la structure des synapses, à celle des réseaux de neurones), tous interagissant entre eux. Son unité est un des champs du vivant les plus difficiles à saisir.

INFORMATION ET STRUCTURE GÉOMÉTRIQUE

Un autre enseignement important est à tirer du projet de Thom de géométrisation du vivant. Dans une époque de « bits » qui flottent partout, l'image de l'information (voire de l'intelligence) comme unique question de « suites de bits » est tout à fait courante. Or, le codage digital de l'information est sans doute d'une efficacité extraordinaire, pour certains buts : une fois codée, l'information est transmise et sauvegardée avec une fidélité et une vitesse sans égal ; des méthodes de contrôle binaire permettent même de vérifier, au moins partiellement, la fidélité de sa transmission et sa sauvegarde. Rien de mieux pour construire ces ordinateurs digitaux et ces réseaux qui sont en train de changer le monde. De plus, quelques grands résultats des années 1930 ont démontré que « tous les codages discrets et leur traitement effectif sont équivalents » ; en effet, Kleene, Turing, Church... démontrèrent l'équivalence des

32. EDELMAN, 1987.

33. PROCHANTZ, 1997.

34. Voir la structure fine des synapses analysée in EDELMAN, 1987, qui échappe à la dynamique des réseaux mathématiques de neurones.

différents formalismes de l'époque pour la calculabilité (c'est-à-dire que les fonctions numériques calculées par les systèmes de Herbrand, Curry, Gödel, Church, Kleene, Turing... étaient les mêmes). Par un abus philosophique étonnant, induit par la surprise et la difficulté technique de ces résultats (et par le formalisme positiviste ambiant), on a alors dit que « toute forme d'élaboration de l'information », et donc « toute forme d'élaboration biologique de l'information », « toute forme d'intelligence », sont codables dans n'importe lequel de ces systèmes formels et, donc, en fin de compte, dans des suites de 0 et 1 d'une mémoire digitale.

À l'inverse, et sans encore se plonger dans les mystères de l'intelligence, les analyses morphogénétiques nous montrent le rôle de la structuration géométrique de l'information. Les déformations continues, par exemple, leurs classes d'équivalence, constituent un transfert-élaboration de l'information qui est essentiel chez le vivant (aussi bien qu'en physique). C'est-à-dire que les transformations continues, différentiables ou isométriques qui préservent certaines régularités et non d'autres sont au cœur des phénomènes du vivant, à partir de celles de la structure géométrique de l'ADN ou des protéines et de leurs évolutions. À cela, bien évidemment, s'ajoute la composante discrète et quantitative de l'information, ces bits qui ne sont que des singularités et, donc, des mesures possibles d'une composante de la complexité topologique d'une structure géométrique. L'information a une nature quantitative *et* qualitative : l'insistance sur une seule de ces composantes, la première, a été une limitation grave dans nos descriptions du monde.

Certains continuent toutefois à dire : oui, mais ce continu, ces structures géométriques sont bien réductibles, « en fin de compte », à du « discret tout petit », mais bien déterminé. Plusieurs questions se posent alors :

1° Tout d'abord un problème de complexité. Si, pour l'analyser du point de vue mathématique, on devait décrire par une suite de 0 et 1 la structure tridimensionnelle de toutes les protéines échangées dans les cascades post-synaptiques, par exemple, ainsi que l'information transférée par les flux biochimiques dans les liquides d'un cerveau animal et les phénomènes de convection qui les accompagnent, voire par les variations et déplacements d'environ 10^{15} synapses, il n'y aurait pas seulement des difficultés pratiques, mais de principe : des principes physico-mathématiques empêchent, en effet, la saisie discrète et linéaire de ces informations « continues » et tridimensionnelles ; ou leurs mathématiques deviendraient démonstrablement insaisissables. Bref, il faudrait occuper la surface de la Terre, avec nos plus petits *chips* et, alors, même des problèmes de synchronisation relativiste se poseraient.

2° De plus, si l'on accepte l'hypothèse d'une discrétisation possible de toute structure spatio-temporelle, quelle grille faut-il établir, quelle finesse d'approximation donner ? Le moindre des phénomènes du vivant inclut aussi des systèmes dynamiques dans le sens de la physique (thermodynamique, de type critique, etc.). Or, n'importe quelle grille discrète, établie *a priori*, peut se

révéler insuffisante à l'analyse, car la sensibilité aux conditions initiales peut entraîner des conséquences énormes, bien « au dessus » du niveau d'observabilité, tout en partant d'une variation « en dessous » de la finesse de la grille.

3^e Mais de quel « discret » parlons-nous vraiment ? Car si l'on pense que l'on pourra, en fin de compte, pousser le codage jusqu'au niveau de la microphysique (justement, pour ne pas couvrir la Terre de microprocesseurs), alors ce discret ne pourra être que celui de la physique quantique. On passe alors, comme Michel Bitbol l'explique bien³⁵, à la faillite de l'esprit même de la réduction formaliste et mécaniciste au discret : la référence à un discret bien déterminé et ultime, lieu de la certitude mécaniciste classique, en fait celle de la mécanique laplacienne. Rien de cela n'est possible en physique quantique, car elle est une théorie des champs continus, où la constante de Planck, seule référence possible au discret, a la dimension d'une action (une énergie multipliée par le temps), une fibration orthogonale au continu de l'espace-temps (voir part. I, *supra*, p. 71, n. 11). De plus, l'indétermination et le débat épistémologique associé – entièrement ouvert – donnent un rôle profondément antimécaniciste au sujet connaissant. En s'approchant du monde de la microphysique, on s'éloigne en fait des mythes du déterminisme mécaniciste, les suites de bits bien réglées et programmées par les lois de la pensée formalisée.

Pourquoi alors renoncer à l'approximation de l'analogie et au contenu informatif direct de la forme continue et de ses mathématiques ? Les déformations d'une structure géométrique, en tant que telles, peuvent reproduire par analogie une information. De plus, *l'analogie est intentionnelle* : on choisit ce qu'il faut reproduire de façon analogue, on sélectionne certains aspects de la forme originaire, à élaborer/simuler ; l'analogie est le résultat d'une *visée*, concept propre au vivant, que l'on saisit si mal en physique où la flèche du temps phénoménal est orientée, sans boucles³⁶. Or, la reproduction-transformation par formes géométriques peut être hautement analogique et intentionnelle, ce qui est en effet crucial pour toute représentation chez le vivant. L'éventuelle plus grande instabilité dans le temps des formes par rapport aux suites de bits est un élément de richesse, car elle correspond à la possibilité d'évolution et de changement. L'analyse de la structuration géométrique du vivant (y compris du cerveau) permet donc de saisir une composante essentielle de l'élaboration de l'information, voire de l'intelligence animale : la simulation choisie et analogique, avec ses possibilités d'évolution. Au contraire, les fidélité et stabilité parfaites du « bit par bit » rendent cette compréhension impossible (en pratique ? en principe ? distinction souvent arbitraire).

En conclusion, dans l'étude des phénomènes du vivant, des plus élémentaires et jusqu'à la cognition humaine, il ne s'agit pas de nier le rôle important

35. BITBOL, 2000.

36. Voir, néanmoins, NOVELLO, 2001.

de l'élaboration mécanique ou formelle des bits, ces singularités centrales pour l'information et pour la vie, mais d'enrichir ces analyses par l'appréciation, aussi, de la richesse phénoménale des structures géométriques et de leur autonomie cognitive, de leurs particularités et de leur efficacité dans la transformation et l'élaboration de l'information. Encore une fois, le formalisme et le mécanisme physicaliste ne sont pas une forme de réduction scientifique, ce qui serait normal dans une pratique scientifique, mais une monomanie philosophique qui a fait perdre le sens de la pluralité de nos formes de connaissance et d'approche du monde, de nos outils intellectuels, mathématiques en particulier. La morphogenèse, ainsi que les travaux sur les réseaux dynamiques de neurones³⁷, malgré leur « incomplétude » (les limites du « regard de physicien », qui toutefois n'est ni formaliste ni mécaniste), nous rendent au moins la richesse de l'organisation géométrique du vivant et des phénomènes cognitifs.

GLOBALITÉ ET CIRCULARITÉ DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

Nous avons vu qu'une des grandes difficultés pour une analyse, en particulier mathématique, du vivant et de son évolution réside dans ces circularités coconstituantes qui en sont le cœur. J'ai même ajouté à la dialectique individu-écosystème celle du présent-futur.

Pour revenir brièvement sur ce point une fois encore, et contrairement à certaines théories de l'esprit, je donne également un sens très élémentaire à la notion d'intentionnalité. Notre intentionnalité de la connaissance et de la volonté est l'épiphénomène ultime et non compositionnel, le point d'arrivée, d'une intentionnalité propre à l'être vivant : je faisais en ce sens référence au « geste » de l'amibe qui va dans une direction de l'espace pour préserver ou améliorer son métabolisme. Ce geste implique l'unité du vivant, l'individu avec sa « membrane » si importante pour l'« isoler » en tant qu'unité biologique, condition essentielle à l'autopoïèse et à l'autoorganisation³⁸.

C'est bien cette intentionnalité vivante qui suggère une analyse du temps qui sache décrire des « boucles » : des structurations autodéfinissantes de l'écosystème dans l'espace, ainsi que l'attente des situations futures possibles, contribuent à constituer l'évolution du présent, ses bifurcations. L'interaction dans l'écosystème se fait donc dans les trois dimensions spatiales et dans celle du temps : c'est-à-dire, les temps locaux ou rythmes internes de l'individu ainsi que le temps de l'interaction spatiale. L'unité de l'écosystème est une affaire spatio-temporelle qui entraîne des circularités spatio-temporelles.

37. Voir, p. ex., HERTZ, KROGH et PALMER, 1991, et AMARI et NAGAOKA, 2000.

38. VARELA, 1989.

Or, les mathématiques ont déjà proposé des méthodes qui peuvent ressembler à une mathématisation de certaines circularités. La logique mathématique, en particulier, en a mis en évidence quelques-unes : les définitions imprédicatives, les ensembles non-bien-fondés, entre autres³⁹. Un ensemble défini imprédicativement, par exemple, contient des éléments, des parties, dont la définition dépend de l'ensemble lui-même (ou, si l'on veut, le « local dépend du global »). En fait, la topologie, si importante dans les analyses rappelées plus haut, utilise très souvent des notions imprédicatives (intersection sur un ensemble d'ensembles qui contient l'ensemble à définir, etc.). Dans un certain sens, les définitions imprédicatives sont « formellement instables », un peu comme un système dynamique est mathématiquement instable : la structure globale détermine « dynamiquement » ses composantes qui la constituent à leur tour.

Il n'est pas évident que ces approches puissent nous dire quelque chose sur l'unité du vivant, car ce ne sont que de « petites formes » de circularités capturées par certains langages formels : elles nous disent toutefois quelque chose sur des boucles conceptuelles possibles, dont l'expressivité est justement dans la circularité elle-même. C'est-à-dire, les propriétés exprimables et les fonctions calculables dans ces formalismes sont plus nombreuses que dans leurs versions prédicatives ou stratifiées ou le sont avec plus de simplicité⁴⁰. Leur signification dans des structures catégoriques demande une richesse structurelle ou des propriétés de fermeture importantes et complexes⁴¹.

Or, les systèmes non-stratifiés ou imprédicatifs ont reçu peu d'attention dans les analyses des fondements des mathématiques, où ils ont été mis en évidence, et ce à cause de l'hégémonie historique des courants fondationnalistes/mécanicistes qui ont considéré la stratification conceptuelle du monde comme la seule source de certitude et d'explication. C'est ainsi que les prédicativistes/prédictionnistes ont longtemps écarté ces outils qui, au contraire, rapprochent les mathématiques du monde (des systèmes dynamiques composés par... au moins trois corps dans leurs champs d'interaction gravitationnelle à, peut-être, ceux du vivant).

Il est évident que les problèmes qui se posent aux analyses mathématiques sont bien plus profonds ; toutefois, cette exigence de « circularités expressives et constituantes », déjà présente en mathématiques, devrait être enrichie et mieux utilisée. Le besoin qu'éprouve le biologiste de recourir à des arguments ou, au moins, à une terminologie « téléonomiques » devrait nous aider. La finalité, le but sont presque toujours présents dans les descriptions du vivant : la « finalité contingente » de la vie elle-même ou la fonction comme but, par

39. BARWISE et MOSS, 1996 ; LONGO, 2000.

40. GIRARD, LAFONT et TAYLOR, 1989.

41. Voir ASPERTI et LONGO, 1991, pour une application de la notion de « catégorie interne » à la sémantique de l'imprédicativité.

exemple. Après coup, une pudeur héritée du mécanicisme pousse à effacer cette téléonomie ; au contraire, l'analyse du rapport « étant et visé » devrait être intégrée dans toute analyse scientifique, voire conceptuelle, et ensuite mathématique, du vivant.

Giuseppe LONGO

QUELQUES REMARQUES SUR LES DÉTERMINATIONS SPATIO-TEMPORELLES EN BIOLOGIE ET SUR CERTAINS ASPECTS GNOSÉOLOGIQUES

Francis BAILLY

I. – ASPECTS BIOLOGIQUES

Bien que cela n'apparaisse pas toujours dans ces termes, la question de l'espace a joué un rôle très important, voire fondateur, en biologie : d'abord avec l'invention du concept de milieu intérieur introduit par Claude Bernard, qui sanctionne une séparation topologique essentielle entre intérieur et extérieur relativement à un organisme et ensuite avec la question de la chiralité biologique mise en évidence par Louis Pasteur qui n'hésita pas, suite à ses expériences sur les tartrates et leur activité biologique différenciée selon qu'ils sont dextro- ou lévogyres, à affirmer que « la vie telle qu'elle se manifeste à nous est une fonction de l'asymétrie de l'univers et une conséquence de ce fait ». Ce disant, il anticipait en quelque sorte dans le domaine qui était le sien, et *mutatis mutandis*, ce qui apparaîtra plus tard en physique, à savoir l'asymétrie matière/antimatière, source semble-t-il de l'existence de notre univers dans sa structure matérielle actuelle.

Par ailleurs, du fait que les structures biologiques sont caractérisées par des processus organisationnels conduisant à des formes complexes (développement) et à des fonctions physiologiques assurant les rapports tout/parties par l'intermédiaire d'intégrations et de régulations entre niveaux d'organisation au sein d'un organisme, il est clair qu'une parenté conceptuelle les relie aux théories physiques de type critique. Ce n'est pas un hasard si les premières modélisations mathématiques de situations biologiques intégrées ont fait appel aux modèles de cascades de bifurcations thermodynamiques⁴² ou à des systèmes dynamiques permettant de traiter de la complexification et de la criticalité autoorganisée (théories de l'autoorganisation entre autres)⁴³,

42. NICOLIS, 1986 ; NICOLIS et PRIGOGINE, 1989.

43. HAKEN, 1978 ; KAUFFMAN, 1993 ; VARELA, 1989.

voire de géométries fractales⁴⁴ et de régimes de fonctionnement chaotiques⁴⁵ repérés dans les organismes. De leur côté, la caractérisation et l'engendrement des processus et des formes ont puisé, dans certains cas, dans les modèles de la théorie des catastrophes élémentaires⁴⁶ et, plus généralement, dans la théorie des singularités. En fait, ce qui apparaît nettement à l'analyse c'est que la situation biologique se présente toujours – à travers régulations, homéostasie, mais aussi pathologies et mort – comme une situation critique durable, de domaine d'extension limité dans l'espace et le temps mais néanmoins étendu⁴⁷.

Avant d'entrer dans des analyses plus précises, un dernier point nous paraît capital, relatif cette fois à la question de la temporalité en biologie. Il faut rappeler, tout d'abord, qu'en physique quantique et dans le cadre de la conjugaison énergie-temps, il existe une dissymétrie entre les deux termes de la conjugaison : si l'énergie est bien une observable quantique (associée à l'opérateur hamiltonien), en revanche le temps n'apparaît que comme un paramètre (et, ce faisant, semble moins essentiel et, pour ainsi dire, moins incorporé à la théorie). La situation semble bien se présenter de façon inverse en biologie : c'est le temps biologique propre (un temps itératif qui préside aux horloges et aux rythmes internes) qui semble détenir le statut d'observable essentielle et « l'énergie » (la taille ou la masse des organismes) apparaître comme un simple paramètre accidentel. En ce sens particulier, on peut considérer que la biologie se présente relativement à la corrélation énergie/temps comme une discipline quasi duale de la mécanique quantique.

I. 1. – Espace : lois d'échelle et criticité ; géométrie et fonctions biologiques

Depuis les travaux pionniers de D'Arcy Thompson⁴⁸, des études récentes⁴⁹ ont montré que nombre de caractéristiques biologiques macroscopiques (pour les distinguer des caractéristiques génétiques au niveau biomoléculaire) étaient partagées par beaucoup d'espèces, de genres, de classes, voire de tout le règne animal en termes de *scaling*, le paramètre choisi étant précisément la

44. MANDELROT, 1982 ; BAILLY, GAILL et MOSSERI, 1989 ; BOULIGAND, 1989b.

45. BABLOYANZ et DESTEXHE, 1993 ; AUGER, BARDOU et COULOMBE, 1989 ; DEMONGEOT, ESTÈVE et PACHOT, 1989.

46. THOM, 1980.

47. BAILLY, 1991.

48. D'ARCY THOMPSON, 1961.

49. PETERS, 1983 ; SCHMIDT-NIELSEN, 1984 ; WEST, BROWN et ENQUIST, 1997.

taille de l'organisme (mesurée par sa masse W , ou dans certains cas par son volume V). Ainsi, les durées T (durées de vie, durées de gestation, périodes des pulsations cardiaques, périodes respiratoires, etc.) semblent toutes obéir à une loi d'échelle en puissance $1/4$ de la masse ($T \sim W^{1/4}$) – les fréquences « scalant » évidemment en puissance $(-1/4)$. De même, les métabolismes R « scalent » en puissance $3/4$ de la masse, et bien d'autres propriétés présentent des comportements similaires. Ce genre de loi d'échelle évoque évidemment des situations critiques, associées aux exposants fractionnaires tels que nous en avons rencontrés dans les théories critiques. Ce qui différencie les groupes d'organismes les uns des autres ce sont simplement les préfacteurs de ces expressions et ceux-ci restent communs à de nombreuses espèces, voire, comme nous l'avons signalé, à des regroupements bien plus vastes (l'exemple le plus spectaculaire semble bien être celui de la durée de vie qui présente la même loi d'évolution en fonction de la masse – le même préfacteur – pour tout le règne animal).

De même, mais au sein des organismes cette fois, on voit apparaître des lois d'échelle, des allométries, reliant certaines caractéristiques géométriques d'organes à la taille des organismes et ce à travers de nombreuses espèces ou, pour un seul et même organisme, au cours du développement. Mais le point principal que nous voulons souligner ici tient à la présence de géométries fractales que présentent certains organes appartenant à ces organismes.

Ces géométries fractales concernent en général des organes engagés directement dans des fonctions physiologiques essentielles (circulation, respiration, digestion, etc.). Elles se présentent comme la trace objective d'un changement de niveau d'organisation dans l'organisme et de l'exercice d'une régulation des parties par le tout (fonctionnalité *top/down*) en même temps que d'une intégration des parties dans le tout (fonctionnalité *bottom/up*). On peut les distribuer en deux classes distinctes : d'une part, les membranes interfaciales (dont les dimensions métriques sont situées entre 2 et 3) – telles la membrane alvéolaire des poumons, la pie mère du cerveau, les villosités intestinales – et, d'autre part, les réseaux arborescents (dont les dimensions métriques d'extrémités peuvent dépasser 2) – tels l'arbre bronchique ou les systèmes vasculaires ou nerveux. On comprend l'apparition de telles géométries si l'on considère qu'elles permettent de concilier des contraintes antagonistes associées aux propriétés spatiales. En effet, d'un côté, comme il s'agit d'organes engagés dans des échanges, leur efficacité et la taille correspondante doivent être maximales pour favoriser ces échanges et les contrôler finement ; de l'autre, du fait qu'ils sont incorporés dans un organisme composé de nombreuses parties, leur encombrement stérique doit être limité pour assurer une viabilité globale ; enfin, ces organes, dans la mesure où ils sont individués et dévolus dans leur globalité à des fonctions, doivent présenter une certaine homogénéité dans leur extension spatiale. Ces contraintes sont à bien des égards antagonistes et seule

une fractalisation des géométries associées aux organes qui doivent y répondre permet de les concilier.

Un autre aspect spatial du biologique qui soulève des questions fort intéressantes tient à sa tridimensionalité intrinsèque. En effet, si l'on s'interroge abstraitement sur les possibilités de voir se développer une biologie en d'autres dimensions, on s'aperçoit que, là encore, les trois dimensions permettent de concilier des contraintes antagonistes. Car, d'une part, il convient que l'organisme présente une différenciation locale suffisante pour permettre des fonctions différenciées concourant au tout et que, d'autre part, il puisse être le siège d'une connectivité interne suffisante pour relier entre elles toutes ses parties. Dans un espace à deux dimensions, si la différenciation peut être suffisante, les liaisons convenables entre les parties ont du mal à s'établir car elles risquent de se croiser et de conduire ainsi à un mélange fonctionnel ; à l'inverse, dans un espace à quatre dimensions, la connectivité est évidemment très favorisée, mais on sait que, en quatre dimensions, les théories de champ moyen⁵⁰ s'appliquent bien et, dans ce cas, les contraintes de différenciation locales deviennent insuffisantes pour conduire à un système très organisé et hiérarchisé en niveaux d'organisation. Le développement en trois dimensions semble bien concilier ces tendances au prix de la production (sans doute en tant qu'attracteurs de certaines dynamiques) des géométries fractales inhabituelles que nous venons d'évoquer. Bien entendu, tout cela concerne les espaces internes des objets biologiques, sans préjuger de la dimension et de la topologie des espaces externes.

En effet, à l'instar de la description de certains « espaces » physiques en termes de fibrations à base d'espace-temps, on peut également considérer qu'il existe, en des termes conceptuellement similaires, des sortes d'« espaces » théoriques internes en biologie constitués principalement par les niveaux d'organisation biologiques. Ceux-ci se distinguent de ce qu'on peut appeler des niveaux, liés aux échelles, en physique, en ce qu'ils sont en plus soumis à des phénomènes de régulation par le niveau supérieur et à des contraintes d'intégration dans le tout qu'ils constituent.

50. Intuitivement, les théories de champ moyen (voir, p. ex., la théorie de Landau du ferromagnétisme) sont des théories où une approximation consiste à remplacer l'effet sur un élément du système (un spin en l'occurrence) de la somme des interactions individuelles dues à tous les autres éléments par un « champ moyen » intégrant ces propriétés individuelles. Ces théories sont d'autant meilleures que le nombre des proches voisins d'un spin donné quelconque est élevé, car alors le spin en question « voit » d'autant mieux la moyenne des effets des autres. Dans un espace à quatre dimensions, ce nombre est suffisamment élevé pour valider une théorie de champ moyen.

I. 2. – *Temporalités biologiques*

Dans une première approche, qui décrit l'état actuel et effectif d'un organisme (ou d'une population), on peut considérer que le vivant est confronté à deux types distincts de temporalité dont l'articulation est un enjeu essentiel de survie. Le premier type, qui renvoie au temps physique le plus classique, est celui qui est associé au couplage entre l'organisme et son environnement à travers les processus de stimulus et de réponses. Il se manifeste principalement par des processus de relaxation (de la forme quasi canonique $e^{-t/\tau}$ et combinaisons de telles exponentielles)⁵¹. Le second type est de nature très différente. Il est associé aux horloges internes qui rythment le vivant et assurent son fonctionnement et sa perdurance⁵² (il prend alors la forme $e^{i\omega t}$ et les combinaisons).

Mais le plus important ne tient peut-être pas encore à ces formes distinctes (encore que mathématiquement parlant on passe du corps des réels à celui des complexes, comme ce fut le cas dans la définition des amplitudes de probabilité pour la mécanique quantique par contraste avec les grandeurs d'état de la physique classique), mais bien au fait que la temporalité interne qui en résulte pour l'organisme est désormais itérative (et non plus « historique ») : de fait, les événements temporels *pertinents* pour cette internalité biologique ne sont plus mesurés par une grandeur dimensionnelle comme en physique (des secondes) mais bien par des nombres purs correspondants aux itérations effectuées ou restantes pour un organisme qui n'en dispose que d'un nombre fini et fixé à l'avance selon son appartenance au groupe qui le définit. Ainsi, pour prendre un exemple particulièrement significatif, tous les mammifères se regroupent-ils bien dans une même classe (de la souris à l'éléphant ou à la baleine), classe caractérisée par le nombre de battements de cœur disponibles sur une durée de vie moyenne (environ 10^9) ou le nombre de respirations correspondantes (environ $2,5 \times 10^8$). Les variations de fréquences entre espèces ne sont attribuables qu'à des masses différentes des organismes adultes moyens (le paramètre). Ce trait très spécial est évidemment directement lié aux propriétés d'échelle que nous avons présentées précédemment. On peut remarquer au passage qu'il tend à conférer une objectivité à des classifications plus ou moins intuitives et abstraites qui ont présidé à la taxinomie du vivant.

51. Le processus de relaxation le plus simple est le retour à l'équilibre d'un système soumis à une petite perturbation, et dont la vitesse de retour est proportionnelle à l'écart à l'équilibre qu'il a subi. Si P est la grandeur considérée de valeur d'équilibre p ($P > p$), alors on a : $dP/dt = -r(P - p)$ où r est l'inverse d'un temps, ce qui conduit à une décroissance exponentielle avec le temps, de l'écart à l'équilibre. L'inverse de r est le temps caractéristique dit « de relaxation ».

52. GLASS et MACKAY, 1988 ; REINBERG, 1989.

Pour accentuer encore l'importance de la temporalité propre des objets biologiques dans l'explication théorique, y compris au niveau évolutif, il faut mentionner les tentatives les plus récentes de repenser la théorie de l'évolution et ses caractéristiques principales à partir des *horloges du vivant*⁵³, interprétant bien des transformations en termes de synchronies ou de dyschronies. Cette approche s'adresse aussi bien au niveau individuel de l'organisme (développement) qu'à celui de l'espèce (évolution).

Mais, comme l'a proposé Giuseppe Longo dans son texte (*supra*, p. 79 *sq.*), il semble bien qu'en biologie il soit nécessaire de prendre en compte un troisième type de temporalité, spécifiquement biologique, associé à ce qu'il appelle le « finalisme contingent », lui-même caractéristique de ce qu'il désigne comme un germe d'intentionnalité (non réflexive), et qui puisse rendre compte des phénomènes évolutifs et adaptatifs propres au vivant. C'est ce type de temporalité (que l'on peut qualifier d'anticipatrice, du fait qu'elle couple l'état actuel du vivant à un état futur de son environnement que lui-même, par son comportement, est en train d'induire) qui serait spécifique d'une existence biologique faisant montre de ce que Jacques Monod appelait une téléonomie. Bien que ce type de temporalité puisse le cas échéant être lu et modélisé comme couplage entre les rythmes propres scandés par les horloges internes et les processus de stimulus-réponse entre l'organisme et son environnement – moyennant l'introduction de délais, comme dans certains modèles de systèmes dynamiques –, il est sans doute méthodologiquement plus fructueux et conceptuellement plus satisfaisant de le caractériser comme tel et d'en faire en quelque sorte une troisième dimension de la temporalité biologique. D'autant que, contrairement aux deux autres dimensions que nous avons décrites, il correspond réellement à une problématique très particulière qu'on ne saurait repérer en physique, en ce qu'il tend à intégrer dans certains facteurs de détermination d'un état de fait actuel des éléments de son propre devenir.

Peut-être est-ce là aussi une des raisons pour lesquelles, comme le souligne Longo, on ne saurait définir une « trajectoire » biologique (des évolutions) comme en physique, c'est-à-dire par l'application d'un principe géodésique qui, parmi toutes les virtualités, en extrait et détermine une seule possible, à savoir la trajectoire critique stable. À l'inverse, il semblerait bien que la « logique » biologique fût tout autre : comme le montre le foisonnement des grands plans d'organisation, ultérieurement sélectionnés par des critères externes – comme Stephen Jay Gould⁵⁴ en fait état dans son analyse des organismes trouvés dans le schiste de Burgess –, ce sont dans un premier temps toutes les virtualités qui sont mises au jour, excepté les impossibles. Comme si

53. CHALINE, 1999.

54. GOULD, 1991.

le critère désormais n'était plus l'émergence du seul possible mais bien l'élimination des quelques impossibles⁵⁵ !

Sans chercher à formuler des conclusions prématurées dans le domaine de la biologie, nous pouvons cependant tirer quelques enseignements de la situation épistémologique de l'espace et du temps telle que nous l'avons examinée à la lumière de certains développements récents de la biologie théorique. À l'instar de ce qui se passe en physique, mais dans des registres très distincts, nous trouvons la question de l'articulation entre espaces externes et espaces internes, qui, dans le cas biologique, correspond dans une certaine mesure à celle de l'articulation entre autonomie de l'organisme (la stabilisation homéostatique de ses fonctionnements et de son identité) et hétéronomie (sa dépendance vis-à-vis de l'environnement et la nécessité de s'y adapter)⁵⁶. Nous trouvons également l'articulation entre un espace déterminé physiquement dans sa structure (celui de l'extériorité) et un autre, intérieur, déterminé par la fonctionnalité interne de l'organisme et pourvu de ce fait de morphologies complexes, issues tout à la fois de l'expression de programmes génétiques et de facteurs épigénétiques dans ses rapports avec l'environnement comme dans ses développements propres.

Outre toutes les spécificités spatiales des situations biologiques que nous avons tenté de décrire, l'élément nouveau essentiel qui apparaît en biologie par rapport à la physique tient au fait que la question de cette articulation interne/externe se pose également – et de façon cruciale – à propos du temps et des

55. C'est dans son texte que Giuseppe Longo souligne plusieurs traits qui font la spécificité du biologique par rapport au physique. Parmi eux, il cite le fait que le biologique, loin de suivre une « trajectoire » évolutive en termes de géodésique, explore au contraire toutes les possibilités compatibles avec son existence de façon à la fois passive (se soumettant aux sélections naturelles) et active (en modifiant son propre environnement, c'est-à-dire aussi les conditions de la sélection naturelle elle-même). La remarque que l'on peut faire est que l'on peut trouver une analogie conceptuelle dans la physique pour le premier aspect (« passif »), mais pour l'instant pas pour le second (« actif »), où viendrait alors se situer le « spécifiquement biologique ». En effet, en théorie quantique des champs, les intégrales de chemin (intégrales de Feynman) constituent des entités (pas encore mathématiquement parfaitement définies, d'ailleurs) visant à prendre en compte (avec les pondérations adéquates) *tous* les chemins menant d'un état initial à un état final (et non pas seulement une trajectoire privilégiée comme géodésique, même si les probabilités autres peuvent être faibles). Un peu comme si, biologiquement parlant, on parvenait à prendre en compte (avec des probabilités à définir) toutes les transformations à partir d'une forme mère (cf. l'explosion du précambrien telle qu'elle apparaît dans la faune de Burgess et telle qu'elle a été conceptualisée par Stephen Jay Gould notamment). En revanche, on remarque que tous ces chemins quantiques dont nous faisons état se situent dans des « espaces » et des modes d'interaction définis à l'avance et qui ne dépendent pas vraiment de l'existence de tel ou tel chemin (même si, à la rigueur, on peut les faire dépendre d'un état final, une fois celui-ci atteint), alors que dans les situations biologiques, par contraste, toute étape évolutive, voire individuelle, modifie les conditions dans lesquelles se produisent les suivantes (plasticité formes-environnement).

56. BAILLY, 1998.

rapports entre les deux types de temporalité que nous avons évoqués. Une temporalité toute physique et pourvue d'une dimension (au sens cette fois de la dimensionalité des unités, telles des secondes ou des jours) et l'autre plus spécifique, itérative et s'exprimant par des nombres purs et qui semble jouer un rôle quasi constitutif dans la construction de l'objectivité biologique, y compris en servant de bases, en tant que nouveaux invariants, à des classes d'universalité (comme le montre bien l'exemple que nous avons donné des rythmes propres des mammifères).

Nous pourrions peut-être aller un peu plus loin en remarquant l'analogie frappante avec la physique, mais dans une démarche inversée pourrait-on dire, qui s'établit au niveau le plus fondamental de la détermination biologique, celui de la dimensionalité (au sens topologique) de l'élémentaire. Nous avons vu, en effet, qu'en physique, avec la théorie des cordes venant se substituer aux théories de « particules élémentaires », l'élémentarité passait du ponctuel au linéaire, avec toutes les conséquences conceptuelles que cela peut entraîner. En biologie, à l'inverse mais dans un mouvement curieusement convergent, il semble bien que l'élémentarité théorique soit d'une certaine façon, et au niveau le plus bas de l'organisation biologique, en train de passer du volumique (dont nous avons argumenté plus haut la pertinence, voire la nécessité) au linéaire également. En effet, ce qui se révèle, semble-t-il, déterminant dans la programmation génétique fondamentale et la construction organique qui en résulte, est constitué par les séquences linéairement alignées dans un ordre déterminé des bases de l'ADN, constituant les gènes et gouvernant dans une large mesure le développement et le fonctionnement de l'organisme. Bien entendu, il n'est pas question d'oublier les différents niveaux de structure des macromolécules pour les rabattre sur la seule linéarité des séquences, puisque l'on sait que l'activité biologique de ces macromolécules dépend aussi fortement de leurs structures spatiales tertiaires (comme le montre l'activité des prions, par exemple), mais il est néanmoins remarquable que les enchaînements linéaires prennent désormais une telle importance, d'autant que les structures spatiales des repliements sont elles aussi largement dépendantes des séquences constituantes du fait des interactions qui régulent ces repliements.

En tout état de cause, il n'est pas douteux à nos yeux que l'éclairage qu'apporte la biologie aux questions, fondamentales pour elle, de l'espace et du temps et à la façon de les traiter, offre un point de vue épistémologique complémentaire et parfois convergent avec celui que peuvent en suggérer les théories physiques les plus contemporaines. Par-delà les analyses relatives à la perception proprement dite à laquelle on réduit souvent l'apport de la biologie en ces matières, une approche cognitive relative aux statuts de l'espace et du temps, si elle se veut fondée sur les disciplines des sciences de la nature et si elle vise à l'objectivité, ne peut ignorer l'apport de cette composante de biologie théorique.

II. – ASPECTS GNOSÉOLOGIQUES ET DÉTERMINATIONS MATHÉMATIQUES DES UNIVERS DE REPÉRAGE

Après cet examen de la façon dont les disciplines de science de la nature proposent de traiter de l'espace et du temps et incorporent ces référents dans leurs contenus théoriques propres, il peut être intéressant et instructif de recourir, sur quelques aspects particuliers relatifs à des concepts gnoséologiques associés à ces repérages, à une analyse un peu plus transversale. C'est ce que nous allons tenter d'aborder rapidement, d'une part, à propos de trois couples de concepts qui nous paraissent très importants dans cette optique : celui de *localité/globalité* pour l'espace, celui de *processus/itération* pour le temps (ces deux couples étant largement associés au concept de *causalité*) et celui de *régularité/singularité* pour ce qui est des représentations de référence.

D'autre part, comment ne pas poser la question de savoir si, par-delà les déterminations issues des théories physiques et des approches biologiques, il est possible de caractériser d'une façon plus formelle et en rapport avec des déterminations mathématiques et logiques, cette fois, ce qu'il peut en être d'un espace et d'un temps tout formels ? Il s'agirait alors de les appréhender non plus vraiment dans leurs rapports de constitution avec les phénomènes scientifiques, mais précisément en tant que formes abstraites de ces rapports, c'est-à-dire en tant que simples univers de repérage. Abstraites dans les deux acceptions que l'on pourrait donner au terme : celle d'une sorte de processus d'abstractisation à partir de ce que suggère ce que peuvent avoir de commun les traitements théoriques de ces phénomènes et celle, concomitante, d'une sorte de forme fonctionnant alors quasi *a priori* et qui s'impose désormais – à l'issue de ce processus – comme référence nécessaire à l'objectivation elle-même.

II. 1. – Aspects conceptuels

Localité/globalité

Manifestement, lorsque l'on passe des théories physiques de type relativiste, à celles de type quantique, puis critique, puis enfin aux théories biologiques, le couple conceptuel localité/globalité voit l'importance et la pertinence des termes qui le composent se décaler du premier vers le second. En effet, malgré le point de vue globalement interactif du principe de Mach et sa traduction einsteinienne en termes de relativité générale, cette théorie préserve complètement le principe de localité en ce qu'elle s'exprime essentiellement et exhaustivement par des équations aux dérivées partielles. En cela, elle favorise l'interprétation en termes de causalité tout aussi locale et soumise à propagation.

La physique quantique se présente également comme une théorie locale quant aux interactions et à la propagation du vecteur d'état (les équations de Schrödinger, par exemple, ou de Dirac, sont aussi des équations aux dérivées partielles) et répondant à une causalité apparemment du même genre. Mais l'opération de mesure d'une part, les propriétés de non-séparabilité de l'autre interdisent une interprétation locale complète. La causalité classique s'en trouve elle-même affectée en ce sens qu'une mesure conduit à un résultat intrinsèquement probabiliste et que la non-séparabilité rompt avec la représentation associée à la propagation causale des effets⁵⁷.

Le cas des théories critiques est encore plus net : la non-localité y prend une place importante et ce sous un double aspect. D'une part, du fait que les interactions se font désormais à longue distance, la portée des corrélations devient infinie ; il en résulte que les variations et effets locaux perdent leur pertinence, tant pour l'analyse que pour les mesures, au profit des comportements globaux du système, au point que c'est l'objet lui-même qui s'en trouve redéfini ; d'autre part, ces comportements globaux eux-mêmes se voient gouvernés par des exposants critiques et des lois d'échelle qui n'ont rien de locaux (puisqu'ils dépendent des dimensionalités de l'espace de plongement et du paramètre d'ordre). Il est à noter que, de façon concomitante, la représentation spontanée des règles de la causalité usuelle selon laquelle il existe une commensurabilité simple entre causes et effets (à petites causes petits effets, à grandes causes grands effets) se trouve subvertie (dans les situations critiques, à des causes finies peuvent répondre des effets infinis, pouvant même correspondre à des discontinuités des propriétés). De même, le principe de Curie, selon lequel la symétrie des causes se retrouve dans la symétrie des effets, se trouve remis en question (au moins pour les expériences singulières) du fait des brisures de symétrie qui accompagnent les transitions de phase.

En biologie, enfin, la pertinence de la localité semble se cantonner à la description de processus physico-chimiques sous-jacents, car c'est la définition même de l'objet et de ses fonctionnements qui se fait globale, associée à la non-séparabilité biologique fondamentale du vivant et à la complexité qui le caractérise. Ce sont les niveaux d'organisation qui deviennent déterminants pour la représentation ainsi que les processus de régulation et d'intégration qui les solidarisent en termes de fonctions biologiques. À quoi répond la causalité complexe des hiérarchies enchevêtrées et des effets ago/antagonistes associés. Du coup, la causalité locale peut se trouver remise en cause sans que la causalité globale, que l'on peut associer à ce que l'on désignait comme une « finalité contingente » s'en trouve affectée. Ce qui ouvre la porte à la distinction – qui n'a aucun sens en physique – entre normal et pathologique, puisqu'un

57. On sait que les théories à variables cachées qui visent à surmonter certains de ces aspects considérés comme acausaux sont elles-mêmes non-locales.

fonctionnement « localement » pathologique peut coexister avec le maintien et le fonctionnement globaux de l'organisme dans des conditions où ses caractéristiques vivantes sont conservées.

Processus/itération

Les théories de type relativiste présentent, à travers les métriques qui les caractérisent, une temporalité presque complètement spatialisée. Elles introduisent le concept d'événement comme jalon ponctuel dans cet espace généralisé. Seule la causalité physique – le fait que des interactions ne puissent se propager plus vite que la vitesse de la lumière – ou, d'un point de vue mathématique, le fait que la métrique ne puisse changer de signe, introduit une distinction entre ces dimensions. Conceptuellement parlant, cette distinction tient aussi au fait que, du point de vue des symétries et invariances, le théorème de Noether caractérise la temporalité comme grandeur conjuguée à l'énergie (ou, inversement, l'énergie comme conjuguée au temps) alors que les variables d'espace sont conjuguées aux composantes des moments. Mais pour l'essentiel la théorie, attachée à la covariance, traite le temps comme une variable pratiquement du même genre que les variables d'espace.

Par contraste, en physique quantique, nous l'avons déjà relevé, le temps est traité simplement comme un paramètre. La conjugaison avec l'énergie est préservée (y compris dans les relations d'indétermination de Heisenberg), mais le temps n'apparaît pas comme une observable de la théorie. Par surcroît, il semble bien que certains phénomènes, telle la transition quantique, par exemple, ou même la mesure proprement dite (malgré la théorie de la décohérence), aient du mal à s'inscrire dans une temporalité bien assignée en termes de durée accessible à l'expérience (il en va de même de l'apparence d'instantanéité associée à la non-séparabilité). De ce fait, la question causale qui, dans l'effectivité physique, est étroitement liée à celle de l'écoulement temporel s'en trouve directement affectée.

Dans les théories critiques, le temps reprend ses caractéristiques plus classiques, mais il se manifeste sous des aspects phénoménalement assez différents. En effet, outre le caractère événementiel qu'il acquiert lors de la transition proprement dite (dans les transitions de phase), il joue un rôle spécifique et impliqué (par contraste avec son rôle de paramètre) dans la définition de la stabilité, dans la question de l'irréversibilité (temps de récurrence), dans la caractérisation des attracteurs (comportements asymptotiques, notamment lorsqu'ils présentent des géométries fractales – exposants de Lyapounov, etc.) et, bien entendu, lorsque, à l'occasion d'une bifurcation par exemple, il passe d'un statut de repérage ou de condition d'un processus à celui de l'établissement d'un cycle ou d'un rythme et qu'il acquiert ainsi un caractère itératif.

En biologie, enfin, nous avons vu que la temporalité se manifestait sous deux aspects bien distincts : le temps physique externe, du type relaxation,

dans le processus stimulus réponse à fonction adaptatrice par rapport à un environnement extérieur, et le temps itératif des nombres purs associé aux horloges biologiques internes à fonction régulatrice des fonctionnements physiologiques. La causalité biologique, à finalité de survie, semble assez étroitement reliée à l'articulation entre ces deux temporalités.

Régularités/singularités

Il est clair que les théories de type relativiste sont dominées par la représentation d'un espace-temps régulier, continu, différentiable dans lequel les singularités (Schwarzschild ou « initiale ») jouent un rôle quasi accidentel qui ne prennent une importance déterminante que dans certains aspects de la cosmologie (trous noirs, big bang).

La situation est déjà différente en physique quantique où la régularité de certains espaces s'associe à des discrétisations pour d'autres et où l'on a même pu envisager des espaces-temps fractals à petite échelle. La dualité conceptuelle régularité/singularité s'est d'ailleurs révélée historiquement particulièrement sensible ainsi qu'en témoigne le vieux débat qui a animé les interprétations de la discipline, débat qui mobilisait les deux pôles de la représentation que constituent les champs et les particules (on a même pu voir la théorie de la double solution tenter d'articuler explicitement ces deux aspects).

L'intérêt théorique des singularités s'accroît évidemment dans les théories critiques où elles s'associent aux complexifications, sans parler de ces produits particuliers des non-linéarités que sont les solitons et leur propagation. De fait, si l'on s'en tient aux phénomènes qu'elles traitent, ces théories sont essentiellement singulières puisque les situations critiques le sont elles-mêmes (apparition de divergences, de discontinuités, de bifurcations, etc.). D'où le rôle prédominant qu'y joue la théorie mathématique des singularités (ou des catastrophes), des mesures singulières, etc., pour modéliser ces comportements et ces situations qui ouvrent à la complexité. Néanmoins, comme nous l'avons remarqué plus haut, il apparaît à l'issue de ces traitements une forme nouvelle de régularité, qui se situe à un niveau plus général de l'analyse : celle corrélée aux lois d'échelle et aux classes d'universalité qui regroupent des systèmes différents mais présentant des comportements singuliers identiques. Par ailleurs, il convient ici de souligner le fait que ces situations critiques n'intéressent en général qu'une extension très étroite, voire une restriction ponctuelle, du paramètre de contrôle qui gouverne la transition autour de sa valeur critique et que, en deçà ou au-delà de cette zone critique fort étroite, les comportements réguliers redeviennent dominants.

C'est précisément ce dernier aspect qui semble faire contraste avec les situations biologiques. Ces dernières, en effet, peuvent être considérées comme ne pouvant survenir et se maintenir que dans une zone étendue de criticité. La sortie de cette zone équivaut en quelque sorte à la mort de l'organisme qui

s'y était dynamiquement installé ; en effet, le biologique s'y réduirait au physico-chimique et renverrait donc à une situation pré- ou postbiotique. Si ce genre d'approche correspond à quelque élément de réalité biologique et si l'on considère l'espace des paramètres de contrôle, tout se passerait comme si le biologique était caractérisé par une zone de distribution dense (et non plus discrète ou même isolée) de points critiques dans cet espace. Ce qui constituerait aussi un élément d'objectivité déterminant une complexification qualitativement accrue. L'homéostasie correspondrait alors à une sorte de stabilité structurelle des trajectoires relatives aux bassins attracteurs des dynamiques associées.

II. 2. – *Aspects mathématiques*

Si nous quittons maintenant le domaine des traits spécifiques de l'espace et du temps que semblent déterminer les sciences de la nature et les considérations conceptuelles qui peuvent en découler, nous pouvons nous demander s'il n'est pas concevable de franchir un degré dans l'abstraction pour cerner de façon plus formelle ce qu'il en est de ces repères du point de vue de leur détermination mathématico-cognitive, au prix, bien sûr, d'une perte des contenus plus précis qu'ils pouvaient comporter. En effet, dans cette perspective, espace et temps, au sens élargi qu'ont pris ces concepts dans les disciplines de sciences de la nature, en physique contemporaine notamment, ne sont plus considérés alors comme des quantités ou des « objets » que l'on étudie, pas même comme des catégories, mais bien, pour revenir aux considérations philosophiques plus anciennes⁵⁸, comme des « formes *a priori* de l'intuition sensible » et comme des conditions de possibilité de toute expérience sensible. Mais, par ailleurs, on peut remarquer que les notions abstraites d'espace et de temps semblent bien renvoyer, au niveau le plus profond de l'analyse formelle que l'on peut en faire, aux structures mathématiques de groupe et de semi-groupe, respectivement⁵⁹.

En effet, les propriétés postulées pour l'espace en tant que « lieu » ou « support » des déplacements en général en font le partenaire nécessaire et exemplaire du groupe. De plus, compte tenu des parentés étroites entre structure mathématique de groupe et relation logique d'équivalence⁶⁰, nous

58. KANT, 1986a.

59. BAILLY et LONGO, 2004.

60. Cette parenté apparaît clairement en considérant que les éléments d'un groupe sont équivalents sous la relation « être transformés l'un dans l'autre par les opérations du groupe ». Dans ces conditions, à l'axiomatique de la structure de groupe (transitivité de la loi de composition, existence d'un élément neutre, existence d'un inverse à chaque opération) correspond terme à terme l'axiomatique de la relation d'équivalence (transitivité, réflexivité, symétrie).

voions se constituer une sorte de complexe abstrait qui représente sans doute un des pôles fondamentaux de toute interprétation objective soumise aux démarches de connaissance, à savoir le complexe <espace, structure de groupe, relation d'équivalence>. Parallèlement, les propriétés postulées d'orientation du cours du temps en tant qu'indice de tout changement font fortement penser à la structure abstraite de semi-groupe dont elles semblent reproduire les caractéristiques. Cette structure de semi-groupe pouvant, pour sa part, être mise en rapport avec la relation d'ordre, cela conduit à envisager une seconde sorte de complexe de repérage cognitif, celui de <temps, structure de semi-groupe, relation d'ordre>.

Pour éviter toute confusion, il faut répéter que les espace et temps évoqués dans ces complexes ne font plus vraiment référence à des entités naturelles proprement dites, mais bien plutôt aux cadres conceptuels qui sont censés permettre à toute science de la nature de se manifester, c'est-à-dire à des conditions de possibilité abstraites et non à des actualisations effectives. Cela étant bien précisé, il apparaît, si cette approche est correcte, qu'avec la formation de ces deux pôles renvoyant, notons-le, aux sémantiques respectives de permanence et de changement, de stabilité et d'évolution, d'identité et de différenciation, se trouverait effectivement balisé le champ des conditions de possibilité de toute science de la nature en ce sens que toute phénoménalité de ce type est appelée à se manifester de façon spatio-temporelle.

II. 3. – Discussion

De ce tableau général quoique encore incomplet (notamment dans le domaine des sciences du vivant), il ressort que les différentes théories actuellement en vigueur nous proposent de l'espace et du temps des représentations pas encore vraiment stabilisées et pas encore vraiment clarifiées (même si, en physique, les théories supersymétriques des cordes tendent à unifier les points de vue sous des déterminations communes) : faut-il continuer à distinguer radicalement espace et temps malgré les articulations et mélanges proposés par les théories relativistes ? Faut-il n'en référer qu'à un seul type d'espace malgré les topologies et propriétés variées envisagées dans leurs structures (trou de ver, par exemple) et pour leurs dimensions (compacification, anticommutation, ou encore internalisation – voire fractalisation – de certaines d'entre elles) en physique, espaces environnementaux ou espaces propres de complexification et de fractalisation des formes en biologie ? De même, faut-il s'en tenir à une représentation unique d'un temps paramètre ou le considérer comme observable intrinsèquement irréversible en physique et comment articuler ces temps physiques avec le temps propre itératif de la biologie (sans s'en tenir à la formalisation en termes de bifurcations de Hopf isolées, par exemple, mais en prenant en compte les effets collectifs des syn- et dyschronies correspondantes) ?

Une des raisons de cet état de fait apparemment un peu confus (quoique ces théories variées semblent beaucoup plus proches, dans leurs caractères souvent contre-intuitifs de la réalité objective que ne l'ont jamais été les perceptions spontanées et intuitives) tient sans doute à ce que les concepts mêmes d'espace et de temps restent relativement problématiques d'un point de vue gnoséologique malgré les catégorisations formelles que nous avons nous-mêmes tenté d'introduire plus haut (voir p. 111). Une des difficultés venant manifestement du fait que désormais en physique (à l'image de ce qui se passe depuis longtemps en biologie) nous devons tenir compte d'une articulation inédite entre espaces-temps externes et espaces-temps internes à l'objet scientifique, pourvus chacun de propriétés communes et en même temps de différences discriminantes. Il est alors frappant de constater que nous sommes reconduits, mais du côté de l'objet cette fois, à une distinction opérée il y a déjà longtemps par les philosophes – et notamment par Kant – du côté du sujet épistémique, entre l'espace comme forme du sens externe et le temps comme forme du sens interne⁶¹. Une telle distinction du côté de l'objet était inacceptable pour le Kant des *Critiques* du fait que, rompant avec une caractérisation ontologique de l'objet scientifique, toute internalité lui était déniée et que son repérage était considéré comme totalement externe. Pourtant, vers la fin de sa vie, revenant sur les *Principia* de Newton, il ne pouvait s'empêcher, si l'on en croit *l'Opus postumum*⁶², de s'interroger à nouveaux frais sur ce point, relativement à la question de l'énergie, en particulier. Il renouait ce faisant avec certaines des problématiques leibniziennes dont il s'était pourtant largement écarté auparavant et, finalement, il aurait peut-être trouvé dans cette « spatio-temporalisation » interne des objets physiques et biologiques contemporains sinon une réponse au moins une indication pour des investigations nouvelles.

Bien entendu, nous ne pouvons garder sans artificialité, et qui plus est du côté de l'objet, la dichotomie externe/interne correspondant à la distinction entre, respectivement, espace et temps. Néanmoins, et compte tenu des conditions mêmes de la construction de l'objectivité, il ne serait vraisemblablement pas excessif de considérer, en lieu et place des formes de l'intuition sensible du côté du sujet, ce que l'on pourrait appeler des *formes de la manifestation sensible* du côté de l'objet, ces formes pouvant elles-mêmes renvoyer à des concepts d'externalité et d'internalité. En effet, dans le premier cas (l'externalité), on examinerait essentiellement la phénoménalité de la relation entre objets (interactions et mesures correspondantes). Dans le second cas (l'internalité), on étudierait cette fois les contraintes concourant à une phénoménalité de l'identité (ou mieux, pour prendre en compte le mouvement de constitution, de l'identification) de l'objet – sans confondre cette identification avec une

61. KANT, 1986a.

62. KANT, 1986b.

individualité problématique comme la non-séparabilité quantique le montre bien.

On remarquera alors que ces distinctions et ces caractérisations conceptuelles sont celles qui structurent de fait la démarche biologique et se révèlent opératoires pratiquement depuis que cette discipline existe, et que l'élément nouveau tient à ce que c'est désormais l'objectivité physique qui n'échappe plus à cette tension épistémique puisqu'elle a maintenant une contrepartie objective dans la théorie avec la distinction entre espaces externes (bases des fibrés) et internes (fibres), dont l'articulation fait partie du corpus théorique. Du coup, ironiquement et par contraste avec certaines tendances épistémologiques qui visent à réduire (conceptuellement, si ce n'est théoriquement) le biologique au physique, c'est du côté du biologique que l'on irait chercher un éclairage conceptuel permettant d'aborder de façon plus compréhensive la phénoménalité physique la plus abstraite !

Puis, franchissant un nouveau pas, dans un second temps de l'analyse, du fait que la relation s'inscrit nécessairement dans une « étendue » (toute spatio-temporelle qu'elle puisse être) et que l'identification s'inscrit dans une permanence – une durée – nécessaire pour stabiliser ne serait-ce que fugacement cette identité, il ne serait pas interdit de parler en un sens rénové d'un {espace} (avec des accolades pour éviter toute confusion) correspondant à cette externalité relationnelle spatio-temporelle et d'une {temporalité} associée à cette internalité identitaire durable.

Nous serions ainsi conviés à une sorte de « renormalisation » conceptuelle. Pour la physique, nous verrions dans les espaces-temps externes, une forme de la manifestation {espace/relation}, alors que la forme de la manifestation {temps/identité} correspondante serait à trouver dans les fibres en tant qu'espaces internes ; du coup, l'articulation des deux (par l'introduction de la supersymétrie et le superspace) engendrerait ce que l'on appellerait un {espace-temps} au sens renouvelé, qui prendrait en compte l'ensemble des déterminations de l'objet : relationnelles et identitaires ainsi que leur articulation. Tandis que, pour la biologie, ce seraient les espaces-temps physiques qui correspondraient à la forme de la manifestation {espace/relation}, éminemment relationnelle en effet, et les morphologies et rythmes propres qui correspondraient à la forme de la manifestation {temps/identité}, associée à l'identité de l'organisme à son fonctionnement et à sa durée. L'articulation entre ces deux formes de la manifestation sensible en biologie serait double : on en trouverait une première réalisation avec la morphogenèse, au cours de l'embryogenèse notamment, et on en trouverait une autre dans la vie organique proprement dite en rapport avec son environnement. Bien entendu, toutes ces considérations demeurent fortement spéculatives et demanderaient à être approfondies pour en confirmer ou en infirmer la pertinence.

D'autre part, et comme nous l'avons déjà vu antérieurement (voir p. 111), il est clair que les statuts conférés à l'espace et au temps n'ont pas seulement

des portées théoriques et descriptionnelles. Comme toute contribution à la construction d'objectivité, ils ont une portée gnoséologique et épistémologique et, en ce qui les concerne, à un niveau tellement profond qu'ils ont également des effets sur les statuts de catégories aussi fondamentales que celle de causalité, par exemple, ou de concepts aussi importants que celui de localité. C'est sans doute que ces catégories et ces concepts sont en réalité plus ou moins dérivés des représentations intuitives ou théoriques que l'on se fait de l'espace et du temps, puisque c'est par rapport à ces dimensions que l'on est amené à les élaborer comme facteurs de rationalité explicative. Dans la mesure où la formalisation mathématique confère aux univers de repérage un statut de plus en plus objectif mais en même temps de plus en plus contre-intuitif, ce sont aussi ces catégories et ces concepts dérivés qui se trouvent de plus en plus objectivement déterminés mais aussi de façon de plus en plus contre-intuitive. Nous en arrivons à un stade où, en même temps que se développent les formalismes mathématiques (ou diagrammatiques, ou symboliques), s'élaborent ce que l'on pourrait appeler des intuitions structurelles, nouvelles intuitions quasiment inhérentes à la générativité de ces formalismes mais aussi de moins en moins empiriques. Le problème qui se pose alors est celui de l'articulation rationnelle entre ces nouveaux types d'intuition et les résultats événementiels qui se présentent dans l'univers usuel des phénomènes naturels (de la physique ou de la biologie). Pour reprendre la vieille distinction des débuts de l'herméneutique, si l'explication progresse, la compréhension a du mal à suivre (ce qui faisait dire à René Thom, dans une de ces boutades qu'il affectionnait, que la mécanique quantique était inintelligible et aussi, dans un ordre d'idée pas si éloigné, que tout ce qui était rigoureux était insignifiant). Il est vrai que la question se fait de plus en plus pressante et difficile : quel rapport peut-il subsister entre ces espaces et ces temps de plus en plus abstraits, formellement déterminés et théoriquement construits, et ceux, tout empiriques et immédiats, qui ont présidé aux développements de nos propres capacités cognitives et ont régulé ces dernières ?

La permanence du vocabulaire, si elle constitue un indice de proximité, ne suffit certainement pas à justifier les parentés et c'est sans doute à l'existence de schèmes cognitifs profonds et invariants sous les transformations des représentations mentales, qu'il faut recourir. Nous avons tenté, avec l'introduction des complexes gnoséologiques que nous avons proposés (<espace, groupe, équivalence> et <temps, semigroupe, ordre>) d'aborder cette question très difficile, mais il est patent que cette approche demeure elle aussi très largement insuffisante.

Francis BAILLY
(mars 2003).

LISTE DES RÉFÉRENCES

- AMARI (Shun-ichi) et NAGAOKA (Hirochi), 2000, *Methods of information geometry*, trad. par Daishi HARADA, Providence, RI/Oxford, American Mathematical Society (AMS)/Oxford University Press (AMS Translations of Mathematics Monographs, vol. CXCI).
- ASPERTI (Andrea) et LONGO (Giuseppe), 1991, *Categories, types and structures*, Cambridge, MA, The Massachusetts Institute of Technology Press.
- AUGER (Pierre), BARDOU (Alain) et COULOMBE (Alain), 1989, « Simulation de différents mécanismes électrophysiologiques de la fibrillation ventriculaire », in BOULIGAND, dir., 1989a, p. 197-210.
- BABLOYANZ (Agnessa) et DESTEXHE (Alain), 1993, « Non linear analysis and modelling of cortical activity », in DEMONGEOT (Jacques) et CAPASSO (Vincenzo), éd., *Mathematics applied to biology and medicine*, Winnipeg, Canada, Wuerz, p. 35-48.
- BAILLY (Francis), 1991, « L'anneau des disciplines », *Revue internationale de systémique*, vol. V, 3, p. 233-397.
- BAILLY (F.), 1998, « Sur les concepts d'autonomie et d'hétéronomie dans les disciplines scientifiques et leur extension métaphorique », *Revue internationale de systémique*, vol. XII, 3, p. 253-284.
- BAILLY (F.), 2003, « Invariances, symétries et brisures de symétries comme principes formels d'une possible philosophie moderne de la nature », in BOI (Luciano), éd., *New interactions of mathematics with natural sciences*, Berlin-Heidelberg, Springer, à paraître.
- BAILLY (Francis), GAILL (Françoise) et MOSSERI (Rémy), 1989, « La fractalité en biologie. Ses relations avec les notions de fonction et d'organisation », in BOULIGAND, dir., 1989a, p. 75-93.
- BAILLY (Francis) et LONGO (Giuseppe), 2003, « Incomplétude et incertitude en mathématiques et en physique », dans un volume en mémoire de Gilles Châtelet, Paris, à paraître.
- BAILLY (Francis) et LONGO (Giuseppe), 2004, « Causalités et symétries dans les sciences de la nature. Le continu et le discret mathématiques », en préparation.
- BAILLY (Francis) et MOSSERI (Rémy), 1999, « Symétrie », in LECOURT (Dominique), dir., *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Paris, Presses universitaires de France (Grands dictionnaires), p. 894-898.
- BARWISE (Jon) et MOSS (Lawrence), 1996, *Vicious circles. On the mathematics of non-wellfounded phenomena*, Stanford, CA, Stanford University Press (CSLI Lecture-Notes, 060).
- BERTHOZ (Alain), 1997, *Le Sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob.
- BITBOL (Michel), 2000, *Physique et philosophie de l'esprit*, Paris, Flammarion.
- BOHM (David), 1987, *La Plénitude de l'univers*, trad. de l'anglais Tchalai UNGER, Paris, Le Rocher (L'Esprit et la matière).

- BOI (Luciano), 1995, *Le Problème mathématique de l'espace*, Berlin-Heidelberg, Springer.
- BOULIGAND (Yves), dir., 1989a, *Biologie théorique*, VII^e séminaire de la Société de biologie théorique, Solignac, 1987, Paris, Éd. du CNRS.
- BOULIGAND (Y.), 1989b, « L'autosimilarité brisée », in BOULIGAND, dir., 1989a, p. 143-168.
- CHALINE (Jean), 1999, *Les Horloges du vivant. Un nouveau stade de la théorie de l'évolution ?*, Paris, Hachette Littératures.
- CONNES (Alain), 1990, *Géométrie non-commutative*, Paris, InterEditions.
- D'ARCY THOMPSON (Wentworth), 1961, *On growth and form*, Cambridge, Cambridge University Press.
- DEMONGEOT (Jacques), ESTÈVE (François) et PACHOT (Pascal), 1989, « Chaos et bruit dans les systèmes dynamiques biologiques », in BOULIGAND, dir., 1989a, p. 211-225.
- DORATO (Mauro), 1995, *Time and reality*, Bologne, CLUEB.
- EDELMAN (Gerald), 1987, *Neural Darwinism*, New York, NY, Basic Books.
- FEFERMAN (Solomon), 1995, « Penrose Goedelian argument », manuscript, Dept. of Mathematics, Stanford, CA, Stanford University.
- GIRARD (Jean-Yves), LAFONT (Yves) et TAYLOR (Paul), 1989, *Proofs and types*, Cambridge, Cambridge University Press.
- GLASS (Leon) et MACKAY (Michael), 1988, *From clocks to chaos. The rhythms of life*, Princeton, NJ, Princeton University Press.
- GOULD (Stephen Jay), 1991, *La Vie est belle. Les surprises de l'évolution*, trad. de l'américain Marcel BLANC, Paris, Seuil (Science ouverte).
- GREEN (Michael), SCHWARZ (John) et WITTEN (Edward), 1988, *Superstring theory*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HAKEN (Herman), 1978, *Synergetics*, Berlin-Heidelberg, Springer.
- HERTZ (John), KROGH (Anders) et PALMER (Richard), 1991, *Introduction to the theory of neural computation*, Reading, MA, Addison-Wesley.
- HUSSERL (Edmund), 1962, *L'Origine de la géométrie*, manuscrit non publié de 1933, ici trad. et introd. de Jacques DERRIDA, Paris, Presses universitaires de France (Épiméthée).
- JEAN (Roger), 1994, *Phyllotaxis. A systemic study in plant morphogenesis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KAKU (Michio), 1994, *Hyperspace*, Oxford, Oxford University Press.
- KANT (Emmanuel), 1986a, *Critique de la raison pure*, 1^{re} éd. Berlin, 1781, ici Paris, Presses universitaires de France.
- KANT (E.), 1986b, *Opus postumum. Passage des principes métaphysiques de la science de la nature à la physique*, éd. et trad. de l'allemand François MARTY, Paris, Presses universitaires de France (Épiméthée).
- KAUFFMAN (Stuart), 1993, *The Origins of order*, Oxford, Oxford University Press.
- LASSÈGUE (Jean), 1998, *Alan Turing*, Paris, Les Belles Lettres.
- LEBOWITZ (Joel), 1999, « Microscopic origins of irreversible macroscopic behavior », *Physica A*, vol. CCLXIII, p. 516-527.
- LICHNEROWICZ (André), 1955, *Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme*, Paris, Masson.
- LONGO (Giuseppe), 1999a, « The mathematical continuum, from intuition to logic », in PETITOT, VARELA, PACHOUD et ROY, éd., 1999, p. 401-428.

- LONGO (G.), 1999b, « Mathematical intelligence, infinity and machines. Beyond the Gödelitis », *Journal of Consciousness Studies*, special issue on Cognition, vol. VI, 11-12, p. 191-214.
- LONGO (G.), 2000, « Cercles vicieux, mathématiques et formalisations logiques », *Mathématiques, informatique et sciences humaines*, 152, p. 5-26.
- LONGO (G.), 2002a, « On the proofs of some formally unprovable propositions and prototype proofs in type theory », Invited lecture, *Types for proofs and programs*, Durham, G.-B., déc. 2000, ici repr. in CALLAGHAN (James) et al., éd., *Lecture notes in computer science*, Berlin-Heidelberg, Springer, vol. MMCCLXXVII, p. 160-180.
- LONGO (G.), 2002b, « Laplace, Turing et la géométrie impossible du jeu de l'imitation. Aléas, déterminisme et programmes dans le "Test de Turing" », *Intellectica*, 35, 2002/2, p. 131-162.
- LONGO (G.), 2003a, « The reasonable effectiveness of mathematics and its cognitive roots », in BOI (Luciano), éd., *New interactions of mathematics with natural sciences and humanities*, Berlin-New York, Springer.
- LONGO (G.), 2003b, « Space and time in the foundations of mathematics, or some challenges in the interactions with other sciences », Invited lecture, First American Mathematical Society/SMF meeting, Lyon, juil. 2001, *Intellectica*, 36-37.
- MANDELBROT (Benoît), 1982, *The Fractal Geometry of nature*, New York, NY, W. H. Freeman.
- NICOLIS (Grégoire), 1986, « Dissipative systems », *Reports on Progress in Physics*, vol. XLIX, 8, p. 873-949.
- NICOLIS (Grégoire) et PRIGOGINE (Ilya), 1989, *À la rencontre du complexe*, Paris, Presses universitaires de France.
- NOVELLO (Mario), 2001, *Le Cercle du temps*, Paris, Atlantisciences.
- PACHOUD (Bernard), 1999, « The teleological dimension of perceptual and motor intentionality », in PETITOT, VARELA, PACHOUD et ROY, éd., 1999, p. 253-285.
- PAURI (Massimo), 1999, « I rivelatori del tempo », preprint, dipartimento di Fisica, università di Parma.
- PENROSE (Roger), 1994, *Shadows of mind*, Oxford, Oxford University Press.
- PETERS (Robert), 1983, *The Ecological Implication of body size*, Cambridge, Cambridge University Press.
- PETITOT (Jean), VARELA (Francisco), PACHOUD (Bernard) et ROY (Jean-Michel), éd., 1999, *Naturalizing phenomenology. Issues in contemporary phenomenology and cognitive sciences*, Stanford, CA, Stanford University Press.
- PROCHIANTZ (Alain), 1997, *Les Anatomies de la pensée*, Paris, Odile Jacob.
- REINBERG (Alain), 1989, *Les Rythmes biologiques*, Paris, Presses universitaires de France.
- RIEMANN (Bernhard), 1854, « On the hypothesis which lie at the basis of geometry », trad. angl. William CLIFFORD, *Nature*, 1873, trad. ital. et comment. Roberto PETTOELLO, Milan, Boringhieri, 1999.
- ROGERS (Hartley), 1967, *Theory of recursive functions and effective computability*, New York, NY, McGraw-Hill.
- SCHMIDT-NIELSEN (Knut), 1984, *Scaling*, Cambridge, Cambridge University Press.

- TAZZIOLI (Rossana), 2000, « Riemann Bernhard. Alla ricerca della geometria della natura », *Le Scienze*, Monografia n° 14, numero speciale, supplemento a *Le Scienze*, 380.
- THOM (René), 1972, *Stabilité structurelle et morphogénèse. Essai de théorie générale des modèles*, New York, NY, Benjamin (Mathematical Physics Monograph Series).
- THOM (R.), 1980, *Modèles mathématiques de la morphogénèse*, Paris, Christian Bourgeois.
- TURING (Alan M.), 1950, « Computing machinery and intelligence », *Mind*, vol. LIX, 236, p. 433-471, ici repr. in TURING (Alan Mathison) et GIRARD (Jean-Yves), *La Machine de Turing*, trad. de l'anglais Julien BASCH et Patrice BLANCHARD, Paris, Seuil (Sources du savoir, 248), 1995.
- VARELA (Francisco J.), 1989, *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*, trad. de l'américain Paul BOURGINE et Paul DUMOUCHEL, Paris, Seuil (La Couleur des idées).
- VARELA (F. J.), 1999, « The specious present. A neurophenomenology of time consciousness », in PETITOT, VARELA, PACHOUD et ROY, éd., 1999, p. 266-316.
- VIDAL (Christian) et LEMARCHAND (Hervé), 1988, *La Réaction créatrice. Dynamique des systèmes chimiques*, préf. Pierre-Gilles DE GENNES, Paris, Hermann (Enseignement des sciences, 36).
- WEST (Geoffrey), BROWN (James) et ENQUIST (Brian), 1997, « A general model for the origin of allometric scaling laws in biology », *Science*, CCLXXVI, p. 122-126.

(Des versions préliminaires ou revues des articles dont Longo est auteur ou coauteur sont « *downloadable* » de <http://www.di.ens.fr/users/longo>.)

LANGAGE ET GÉOMÉTRIE

L'EXPRESSION LANGAGIÈRE DES RELATIONS SPATIALES

Bernard VICTORRI

RÉSUMÉ : Une étude sémantique des emplois de prépositions spatiales du français (*dans, sur, sous, etc.*) aboutit aux deux résultats suivants : il n'est pas possible, dans le cadre d'une approche référentialiste, de caractériser simplement le sens de ces prépositions par des relations géométriques dans l'espace physique ; en revanche, il est possible de caractériser leur sens par des relations topologiques simples sur une « scène verbale », construite par la parole. On en conclut que la topologie doit jouer un rôle structurant essentiel dans les mécanismes cognitifs à l'œuvre dans l'activité de langage.

MOTS-CLÉS : sémantique, relations spatiales, prépositions, topologie, scène verbale.

ABSTRACT : *A semantic study of the use of French spatial prepositions (dans, sur, sous, etc.) leads to the two following results : it is not possible, in a referentialist approach, to simply characterize the meanings of these prepositions as geometrical relations in physical space ; on the other hand, it is possible to characterize their meanings as simple topological relations on a « verbal scene » built by language itself. It can be concluded that topology plays an essential structuring role in the cognitive mechanisms operating in language activity.*

KEYWORDS : *semantics, spatial relations, prepositions, topology, verbal scene.*

ZUSAMMENFASSUNG : Eine semantische Untersuchung des Gebrauchs der französischen Präpositionen, die sich auf den Raum beziehen (dans, sur, sous, usw.) führt zu folgenden Ergebnissen : bei einem referentialistischen Ansatz ist es nicht möglich, die Bedeutung dieser Präpositionen durch geometrische Beziehungen im physikalischen Raum zu charakterisieren. Man kann jedoch ihre Bedeutung durch einfache topologische Beziehungen auf einer mit Worten konstruierten verbalen « Bühne » darstellen. Daraus folgt, daß die Topologie eine wichtige strukturierende Rolle bei den kognitiven Mechanismen spielt, die den sprachlichen Ausdruck prägen.

STICHWÖRTER : Semantik, räumliche Beziehungen, Präpositionen, Topologie, verbale Bühne.

RIASSUNTO : Uno studio semantico dell'impiego delle preposizioni spaziali della lingua francese (dans, sur, sous, etc.) approdato ai seguenti due risultati : non è possibile caratterizzare semplicemente il senso di queste preposizioni per mezzo di relazioni geometriche all'interno dello spazio fisico tramite un approccio referenziale ; in compenso è possibile caratterizzare il loro senso attraverso relazioni topologiche semplici all'interno di una « scena verbale » costruita dalla parola. Si conclude che la topologia deve giocare un ruolo costitutivo essenziale nei meccanismi cognitivi all'opera nell'attività linguistica.

PAROLE CHIAVE : semantica, relazioni spaziali, preposizioni, topologia, scena verbale.

Bernard VICTORRI, né en 1946, est directeur de recherche au laboratoire LATTICE, CNRS-ENS. Ses recherches portent principalement sur la modélisation mathématique et informatique en sciences du langage, et plus spécifiquement en sémantique linguistique.

Adresse : Laboratoire LATTICE, École normale supérieure, 1 rue Maurice-Arnoux, F-92120 Montrouge.

Courrier électronique : Bernard.Victorri@ens.fr

Le langage est un attribut essentiel de la cognition humaine. Il est donc naturel, quand l'on s'intéresse aux fondements cognitifs de la géométrie, de rechercher comment les langues permettent l'expression des relations spatiales, puisque ces relations ont joué un rôle essentiel dans l'élaboration de la géométrie. Les langues sont des outils qui se sont forgés au cours du temps et dont la fonction première est de nous permettre d'échanger et de partager – autant que faire se peut – le produit de nos pensées : en étudiant la manière dont fonctionne cet outillage, on peut espérer en apprendre un peu plus sur les mécanismes de la pensée elle-même. Ceci est particulièrement vrai des relations spatiales¹, puisque le repérage spatial est une opération fondamentale, indispensable dans la plupart de nos interactions langagières.

Pour que ce type d'étude ait un sens, il faut tout de suite préciser ce que l'on entend par expression langagière des relations spatiales. Toute relation spatiale, aussi complexe soit-elle, est exprimable par le langage : un architecte peut par exemple décrire dans sa langue la forme et la taille d'un bâtiment au niveau de précision qu'il souhaite, de même qu'un géographe peut exprimer la localisation exacte de ce bâtiment sur la Terre, ou qu'un astronome peut indiquer la position d'une étoile par rapport à notre planète. Cela ne nous apprend pas grand chose sur les langues, sinon qu'elles permettent d'exprimer n'importe quel concept scientifique, y compris bien sûr les concepts géométriques que plus de deux mille ans d'étude de cette discipline nous ont permis de dégager et d'affiner. Nous devons donc nous restreindre aux relations spatiales que les langues expriment plus « facilement » ou « naturellement », auxquelles elles semblent accorder un statut privilégié. Pour prendre un exemple, si l'on compare les deux énoncés :

(1) *Le livre est sur la table de nuit ;*

(2) *Le livre est situé à une distance de 15 cm de la lampe de chevet dans une direction qui fait un angle de 30° avec le bord gauche de la table de nuit ;*

on conviendra que la langue permet d'exprimer plus naturellement la relation spatiale évoquée dans l'énoncé (1) que celle évoquée dans l'énoncé (2).

Cette idée intuitive trouve heureusement une formulation plus précise et plus rigoureuse en linguistique. En effet, on distingue classiquement² dans les langues les classes lexicales, comme les noms, les verbes, les adjectifs, et les classes grammaticales, comme les prépositions, les démonstratifs, les désinences de conjugaison et de déclinaison, etc. Les classes lexicales sont des

1. La même remarque s'applique aussi aux relations temporelles. Voir, p. ex., les travaux de GOSSELIN, 1996, sur les aspects cognitifs de l'expression langagière de la temporalité.

2. TALMY, 2000, vol. I, chap. 1.

classes « ouvertes » (on invente de nouveaux mots lexicaux tous les jours), constituées d'un grand nombre d'unités à fort contenu référentiel (on les appelle aussi des « mots pleins »). À l'inverse les classes grammaticales forment des systèmes fermés, composés d'un nombre très restreint d'unités, et leur rôle est plus fonctionnel ou relationnel (on les appelle « mots outils »). Il est clair que les unités grammaticales ont une place plus structurelle dans la langue, et que ce qu'elles permettent d'exprimer a le statut privilégié dont nous parlions : ainsi dans l'exemple ci-dessus, la relation évoquée dans l'énoncé (1) semble plus « naturelle » parce qu'elle est exprimée par une unité grammaticale (la préposition *sur*³), contrairement à l'énoncé (2), où la relation spatiale est portée par des expressions complexes, contenant beaucoup d'éléments lexicaux (*distance, angle, bord gauche, etc.*).

On peut donc formuler notre objectif de manière plus précise. Il s'agit d'étudier les relations spatiales évoquées par les unités grammaticales des langues pour tenter de répondre aux questions suivantes : quelles propriétés géométriques sont inscrites dans le langage à un niveau structurel ?, et dans quelle mesure cette géométrie privilégiée par le langage a-t-elle une base cognitive ?

Les différentes langues utilisent des systèmes grammaticaux très divers pour exprimer des relations spatiales⁴ : prépositions, postpositions, désinences casuelles, particules, marques verbales, etc. Qui plus est, il n'y a pratiquement jamais de correspondance parfaite entre les marqueurs de deux langues données⁵. Une étude complète devrait donc porter sur un grand nombre de langues, de manière à découvrir, au-delà de la diversité des systèmes et des particularités de chaque marqueur, quelles propriétés géométriques sont toujours exprimées par les langues, auxquelles on peut donc attribuer un statut d'universaux qui leur confère une réelle plausibilité cognitive. Notre ambition sera beaucoup plus modeste dans cet article. Nous nous limiterons à un tout petit nombre de prépositions du français : *sur, sous, dans*, et dans une moindre mesure *en*. Comme nous le verrons, cela suffira néanmoins pour prendre la mesure de la complexité de la sémantique de ces marqueurs, et pour énoncer quelques hypothèses sur la nature des opérations cognitives qu'ils mettent en œuvre.

3. Plus précisément, elle est exprimée par l'ensemble *être sur*, où le verbe *être* est une copule qui a aussi le statut d'unité grammaticale (comme *avoir* ou *faire* dans certaines de leurs acceptions), par opposition à la plupart des autres verbes, qui ont un statut lexical.

4. Pour une vue d'ensemble, voir SVOROU, 1993 ; DIRVEN et PÜTZ, 1996.

5. Pour ne prendre qu'un exemple, la préposition anglaise *on* et la préposition française *sur* sont loin d'être de parfaits synonymes. Il suffit d'ouvrir un dictionnaire bilingue pour s'en convaincre : le *Robert & Collins* par exemple indique que *sur* doit se traduire suivant les cas par *on, upon, onto, in, over, above, to, towards, at, about, by, out of, after, etc.* Quant à *on*, il admet comme traductions françaises *sur, à, dans, avec, contre* et bien d'autres encore !

L'APPROCHE RÉFÉRENTIALISTE

Caractérisation du sens d'une préposition spatiale

Pour étudier les sens spatiaux de prépositions comme *sur*, *sous*, *dans*, une méthode classique en linguistique consiste à caractériser les relations spatiales que peuvent entretenir deux objets dont la relation peut être exprimée par la préposition étudiée. On appelle cette approche « référentialiste » parce qu'elle cherche à déduire le sens d'une expression linguistique des propriétés référentielles de la situation dans le monde à laquelle cette expression peut s'appliquer.

Concrètement, cela signifie que l'on va étudier des expressions linguistiques de la forme $X p Y$, dans laquelle p représente la préposition étudiée, et X et Y sont des groupes nominaux désignant deux entités physiques, que l'on notera E_X et E_Y . Chacune de ces entités occupe une certaine région de l'espace physique, notée respectivement R_X et R_Y . Le but est de caractériser la relation géométrique entre ces deux régions pour déterminer le sens de la préposition p dans cette expression.

Premiers exemples

Appliquons cette méthode aux trois exemples suivants :

- (3) *Un livre dans une boîte ;*
- (4) *Un livre sur une boîte ;*
- (5) *Un livre sous une boîte.*

Dans ces trois exemples, on a donc $X = \text{un livre}$ et $Y = \text{une boîte}$, les référents E_X et E_Y désignés par ces expressions linguistiques sont un exemplaire physique de livre et un exemplaire physique de boîte, et R_X et R_Y sont les deux régions de l'espace occupées par ces objets. On peut alors faire les constatations suivantes :

- la préposition *dans* indique l'inclusion topologique : R_X doit être inclus dans R_Y pour que l'expression (3) soit employée à bon escient ;
- les prépositions *sur* et *sous* jouent un rôle symétrique, qui fait intervenir la direction verticale de manière décisive : les deux prépositions impliquent que R_X est à l'extérieur de R_Y , et que ces deux régions sont alignées sur une même verticale. Si l'on oriente cette verticale de bas en haut, *sur* indique que la coordonnée de R_X sur cet axe est supérieure à celle de R_Y tandis que *sous* stipule l'inverse⁶.

6. Ces formulations sont bien sûr très approximatives : pour tenir compte du fait que R_X et R_Y sont des volumes, il faudrait, en toute rigueur, dire que R_X doit être inclus dans le volume engendré par translation verticale de R_Y , parler des coordonnées du centre de gravité de ces régions, etc. Pour ne pas alourdir la présentation, nous nous en tiendrons à des caractérisations informelles, sachant que leur formalisation ne présente pas de difficulté majeure.

Cette première description de *sur* et *sous* doit immédiatement être légèrement modifiée. En effet, si l'on se penche maintenant sur les exemples (6) et (7), on s'aperçoit qu'il n'y pas une symétrie complète entre *sur* et *sous* :

(6) *Un livre sur une table ;*

(7) *Un livre sous une table.*

Visiblement, *sur* impose une relation de contact, contrairement à *sous*. Il faut donc ajouter à notre première définition du sens de *sur* le fait que cette préposition implique que R_X et R_Y partagent une partie de leur frontière.

L'ensemble de ces exemples nous conduit donc à émettre une première hypothèse, très provisoire. Les relations géométriques encodées dans le système grammatical du français semblent comporter des propriétés de deux sortes au moins :

- des propriétés topologiques : intérieur, extérieur, contact ;
- des propriétés de type euclidien, puisque la notion de verticale (et celle de plan horizontal qui lui est intimement liée) implique la conservation de certains angles⁷.

Premières remises en cause

Cependant, si nous poursuivons notre investigation, nous nous apercevons que la notion de verticalité n'est pas si déterminante que cela en a l'air au premier abord pour l'utilisation de *sur* et *sous*. En effet, considérons les exemples suivants :

(8) *Une affiche sur un mur ;*

(9) *Une mouche sur le plafond ;*

(10) *Une étiquette sur le ballon ;*

(11) *Un baiser sur la joue ;*

(12) *Un livre sous le bras ;*

(13) *Un tricot de peau sous sa chemise ;*

(14) *Une affiche sous verre.*

Dans tous ces exemples, on a perdu la relation de verticalité entre R_X et R_Y , et pourtant ces usages de *sur* et *sous* sont tout à fait acceptables. Notons en particulier que la mouche sur le plafond (9) se trouve dans une position où notre première définition impliquerait l'usage de *sous* au lieu de *sur*. Quant à l'étiquette de l'énoncé (10), elle reste sur le ballon quelles que soient les rotations que l'on fait subir à celui-ci...

7. Plus précisément, le groupe de transformations qui définit cette géométrie (dans la perspective du programme d'Erlangen, voir KLEIN, 1974) serait engendré par les translations, les homothéties positives suivant un axe privilégié (l'axe vertical) et les transformations affines (ou projectives ?) du plan perpendiculaire à cet axe...

Ainsi, il faut supprimer la mention de la verticalité si l'on veut garder un minimum de généralité. En fait, dans les exemples (8) à (11), il existe une surface « saillante » S_Y de l'objet E_Y , et *sur* indique que R_X est au contact (extérieur) de cette surface. De même, pour *sous*, il existe une zone privilégiée Z_Y délimitée par E_Y , et *sous* indique que R_X est inclus dans cette zone. Le fait que la surface S_Y se trouve être très souvent la surface horizontale supérieure de E_X n'est pas inscrit dans la sémantique de *sur* : cela est simplement dû à l'omniprésence de la gravité dans notre environnement, qui impose qu'un objet au contact d'un autre plus grand va se trouver le plus souvent à la verticale de celui-ci, posé sur sa surface horizontale supérieure. Autrement dit, la verticalité est une propriété fondamentale du monde où nous vivons, mais pas de la langue : au contraire celle-ci peut la laisser « sous-entendue », justement parce qu'elle est si prégnante dans notre expérience.

Notons aussi que la surface S_Y peut dépendre de la nature de l'entité E_X . Ainsi dans les deux exemples suivants :

(15) *Une mouche sur un mur* ;

(16) *Une poule sur un mur* ;

ce n'est pas la même surface du mur qui sert à localiser R_X : une poule et une mouche, parce qu'elles entretiennent des relations différentes avec un mur, sélectionnent des surfaces saillantes différentes. On peut observer un phénomène analogue avec *dans* :

(17) *Un trou dans un sac de couchage* ;

(18) *Un enfant dans un sac de couchage*.

Ici, ce n'est pas la même région R_Y dans laquelle est incluse R_X . En effet, dans le cas du trou, R_Y est limité à l'espace occupé par le sac de couchage lui-même, tandis que pour l'enfant, R_Y est constitué du volume englobé par le sac⁸.

Ainsi, nous devons réviser radicalement les caractérisations sémantiques de nos trois prépositions. Les définitions qui suivent sont à la fois plus simples et plus complexes ; plus simples, parce qu'elles ne font plus intervenir que des propriétés topologiques de l'espace ; plus complexes, parce qu'elles ne considèrent plus les éléments spatiaux comme donnés, mais comme construits dans l'interaction entre E_X et E_Y :

La préposition *dans* construit R_Y comme un « fermé » pouvant contenir E_X , et elle indique que R_X est une partie de l'intérieur de R_Y .

La préposition *sur* construit R_Y comme un « fermé » dont une partie de la frontière S_Y peut localiser E_X , et elle indique que R_X est au contact extérieur de S_Y .

La préposition *sous* construit R_Y comme la frontière d'un « fermé » Z_Y pouvant contenir E_X , et elle indique que R_X est une partie de l'intérieur de Z_Y .

8. Il faut d'ailleurs remarquer qu'une partie du corps de l'enfant peut ne pas être inclus dans cet espace. Nous reviendrons à ce problème avec l'exemple (19) : *Des fleurs dans un vase*.

On vérifiera sans peine que tous les exemples que nous avons vus jusqu'à présent entrent dans le cadre de ces définitions. On remarquera au passage que la symétrie entre *sur* et *sous* a définitivement volé en éclats : à certains égards, *sous* se rapproche de *dans*, puisque ces deux prépositions sont caractérisées par des relations d'inclusion topologique, la seule différence entre elles tenant au fait que la région d'inclusion est R_Y elle-même dans le cas de *dans*, alors que c'est une région dont R_Y est la frontière dans le cas de *sous*.

Nouvelles difficultés

Malheureusement, il n'est pas très difficile de trouver des contre-exemples à ces nouvelles définitions. En voici quelques-uns :

- (19) *Des fleurs dans un vase ;*
- (20) *Un steak dans une assiette ;*
- (21) *Des nuages sur la ville ;*
- (22) *Une porte sur la rue ;*
- (23) *Un chanteur sous les projecteurs ;*
- (24) *Une ballade sous la pluie.*

Dans les exemples (19) et (20), il est difficile de construire l'espace R_Y dans lequel serait entièrement inclus R_X . Notamment, dans l'énoncé (20), la relation géométrique entre le steak et l'assiette inciterait à utiliser plutôt la préposition *sur*, si l'on s'en tient à notre définition... De même, dans l'exemple (21) il n'y a pas contact entre les nuages et la ville, et dans l'expression (24), on ne voit pas très bien quelle serait la zone dont la pluie définirait une frontière, etc.

Ces exemples (et bien d'autres !) ont conduit un certain nombre de linguistes à renoncer d'une part à définir le sens de ces prépositions uniquement en termes de relations spatiales, et d'autre part à exprimer ce sens en termes de conditions nécessaires et suffisantes. Claude Vandeloise⁹, par exemple, définit pour chaque préposition un ensemble de « traits », dont aucun, à lui seul, n'est nécessaire et suffisant : chaque emploi de la préposition fait appel à un sous-ensemble de traits qui définit le sens de la préposition dans cet emploi particulier. Ainsi, la préposition peut changer de sens d'un emploi à l'autre, du moins en partie, si ce n'est pas le même sous-ensemble de traits qui est utilisé dans les deux cas. Les différents traits associés à une préposition donnée entretiennent une « ressemblance de famille¹⁰ ». Par exemple, pour la

9. VANDELOISE, 1993 et 1995.

10. Cette idée de ressemblance de famille a beaucoup été utilisée par les sémanticiens pour traiter de la polysémie lexicale depuis son introduction par Ludwig Wittgenstein (voir WITTGENSTEIN, 1958, p. 66-67). Voir, entre autres, la version étendue de la théorie du prototype (KLEIBER, 1990, chap. IV). Pour une autre application de la ressemblance de famille à une préposition spatiale (la préposition *over*, en anglais), voir aussi BRUGMAN, 1988 et LAKOFF, 1987, p. 416-461.

préposition *dans*, Vandeloise propose les traits suivants (reproduits ici avec notre notation) :

- (a) E_Y contrôle la position de E_X ;
- (b) S'il y a déplacement, E_X se déplace vers E_Y plutôt que l'inverse ;
- (c) E_X est inclus (ou inclus partiellement) dans E_Y ou dans la fermeture convexe de la partie contenante de E_Y ;
- (d) E_Y protège E_X ;
- (e) E_Y cache E_X .

Comme on peut le constater, ces traits ne font appel à des relations géométriques que marginalement : ils sont plutôt de nature fonctionnelle. D'ailleurs la ressemblance de famille de tous ces traits est caractérisée par Vandeloise par une relation fonctionnelle générale, qu'on peut appeler la « contenance » (« *containment* » en anglais). De même la ressemblance de famille pour les traits associés à la préposition *sur* sont aussi rassemblés dans une relation fonctionnelle générale, le « support¹¹ ».

Ainsi, le programme que nous nous étions fixé paraît voué à l'échec, du moins dans le cadre référentialiste. On ne peut pas caractériser le sens spatial des prépositions uniquement par des relations géométriques dans l'espace physique. Il faut faire appel à d'autres domaines de l'expérience pour définir le sens en termes de relations fonctionnelles (contenance, support, etc.). Autrement dit, il n'y a pas de rapport direct entre la géométrie de l'espace physique et le sens des prépositions.

Ce résultat négatif doit cependant être tempéré : comme nous allons maintenant le voir, en abandonnant le cadre référentialiste, on peut retrouver une interprétation géométrique des prépositions, mais cette fois-ci dans un espace différent de l'espace physique.

L'APPROCHE « CONSTRUCTIVISTE »

L'abandon du référentialisme

Pour les référentialistes, le sens d'un énoncé doit être directement rapporté à la situation dans le monde que cet énoncé décrit. Mais la fonction du langage ne se limite pas à dire le vrai et le faux sur le monde. La parole permet de construire des représentations, qui peuvent bien sûr faire référence à des événements du monde, mais qui peuvent aussi être complètement imaginaires.

11. Dans une approche en partie similaire, HERSKOVITS, 1986, 1^{re} part., parle de « types d'usage » (« *use type* »), regroupés sous un même « sens idéal » (« *ideal meaning* »). Mais pour Herskovits, le sens idéal est de nature géométrique (pour la préposition anglaise *in*, elle propose l'inclusion d'une forme géométrique dans une forme de dimension 1, 2 ou 3).

Et même quand un locuteur parle d'une situation réelle, il ne se contente pas généralement de la décrire objectivement, il en donne sa « vision », il la présente d'un certain point de vue. Les représentations langagières d'une situation réelle sont à la fois plus riches et plus pauvres que la réalité qu'elles évoquent : plus riches parce qu'elles y ajoutent une façon de voir les choses, et plus pauvres parce qu'elles écartent des aspects de la réalité qui ne valent pas la peine d'être dits du point de vue du locuteur. Ce que fait le locuteur, c'est construire une « scène¹² » qu'il présente à ces interlocuteurs dans le but de leur faire partager sa vision de cette scène. Laurent Gosselin parle à ce propos de « simulation de perception¹³ ». Ces scènes, que nous avons appelées « scènes verbales¹⁴ », ont leur propre structure qui diffère profondément des scènes réelles auxquelles elles peuvent faire référence.

Si l'on adopte cette conception du rôle du langage, on est conduit à séparer radicalement le sens de la référence. Dans l'approche référentialiste, le sens devait se définir en termes de propriétés référentielles des entités et des événements de la situation dont on parlait. En revanche, dans cette approche, que l'on appellera « constructiviste », le sens se définit en termes de propriétés des scènes verbales, construites par la parole, sans faire directement appel à la situation référentielle correspondante.

Prenons un exemple très simple pour illustrer ce point. Soit les deux expressions suivantes :

(25) *Un enfant sous la tente* ;

(26) *Un enfant dans la tente*.

D'un point de vue référentiel, ces deux expressions sont équivalentes : il s'agit de la même situation, l'enfant et la tente étant dans la même relation géométrique dans l'espace physique. Dans l'approche référentialiste, cela signifie que *dans* et *sous* sont ici parfaitement synonymes¹⁵. Dans l'approche constructiviste, on peut au contraire rendre compte d'une différence de sens entre ces deux expressions. Même si la situation référentielle est la même, les scènes verbales construites par ces deux expressions diffèrent : dans la première, la tente est évoquée comme une frontière protégeant un espace intérieur, alors que dans la seconde elle est présentée comme l'ensemble de l'habitacle. On mesure donc tout l'intérêt de cette approche. Les relations

12. La notion de scène est largement utilisée en linguistique cognitive : voir LANGACKER, 1987, chap. III ; TALMY, 2000, vol. I, chap. IV et V, etc. Voir aussi la notion voisine « d'espace mental » chez FAUCONNIER, 1984 et 1997. Pour une critique de cette notion de scène, voir CADIOT et VISETTI, 2001, p. 184-195.

13. GOSSELIN, sous presse, introduction, § 2.

14. VICTORRI, 1999, p. 89.

15. Ce point confirme qu'une approche géométrique référentialiste est vouée à l'échec, puisqu'il faudrait inclure dans la définition de *dans* et *sous* la même relation géométrique ! (On peut tenir d'ailleurs le même raisonnement pour *dans* et *sur*, à partir d'exemples comme *une voiture dans un parking* et *une voiture sur un parking*.)

topologiques qui nous ont servi à définir les prépositions *dans* et *sous* sont préservées dans cet exemple ; simplement, il ne s'agit plus de topologie de l'espace physique, mais de topologie de la scène verbale.

Il faut noter que l'on peut aussi mieux prendre en compte les relations fonctionnelles qui remplacent les relations géométriques chez Vandeloise. Dans l'approche référentialiste, les exemples (25) et (26) sont aussi problématiques de ce point de vue : la tente, en tant qu'objet physique, a les mêmes propriétés fonctionnelles, quelle que soit la manière dont on en parle. Là encore, il faudrait en déduire que *dans* et *sous* peuvent évoquer les mêmes relations fonctionnelles. En revanche, si l'on considère la manière dont la tente est construite sur la scène verbale, on comprend le lien étroit entre topologie et propriétés fonctionnelles. Puisque la tente est construite comme la frontière d'un espace fermé dans l'énoncé (25), on conçoit que ce qui est mis en scène par cette expression, c'est la fonction de « protection » de la tente. Dans l'exemple (26), la tente étant construite comme un espace qui inclut l'enfant, c'est la fonction de « contenance » qui est mise en avant. Sur la scène verbale, il n'y a pas d'opposition entre propriétés topologiques et propriétés fonctionnelles : les relations topologiques sont, au contraire, systématiquement investies de propriétés socio-anthropologiques, comme on va le voir.

Construction dynamique du sens

Dans cette approche, les unités linguistiques sont donc des outils de construction de scènes verbales. On peut définir leur sens comme une instruction de « mise en scène verbale ». Pour qu'une scène cohérente se construise, il faut que les différentes instructions portées par les unités qui composent un énoncé donné puissent se combiner et interagir entre elles. Comme on l'a vu avec les exemples (25) et (26), ce n'est pas le même élément qui va être évoqué sur la scène verbale par le mot *tente* suivant qu'il est précédé de *dans* ou de *sous*.

Dans le cadre du référentialisme, nous avons déjà dû prendre en compte les interactions entre unités, pour expliquer par exemple la différence entre *une mouche sur un mur* et *une poule sur un mur* (exemples 15 et 16, ou encore 17 et 18). Cela nous avait conduit à des définitions du sens des prépositions dans lesquelles nous disions que la région spatiale R_Y était construite par les prépositions plutôt que simplement donnée par l'entité E_Y . Ici, nous devons aller beaucoup plus loin, puisque ce sont E_X et E_Y , eux-mêmes, qui doivent être construits : en effet, E_X et E_Y ne sont plus des entités référentielles mais des éléments de la scène verbale.

La scène verbale doit donc se construire de façon dynamique dans les interactions entre unités, chaque unité apportant sa contribution aux voisines et recevant en échange leur influence. Le sens d'une unité doit être défini comme une instruction dynamique, qui fait appel à d'autres éléments de la scène en

construction sur lesquels elle agit. Nous appelons ce double mouvement le processus de « convocation-évoocation¹⁶ ». Décrire le sens d'une unité comporte donc deux étapes :

– d'une part, déterminer ce qui doit être présent dans le contexte (y compris la scène en train de se construire) pour que l'unité puisse jouer son rôle dans cette construction. Ces éléments, nécessaires au bon fonctionnement de l'unité, mais dont elle n'est pas elle-même porteuse, nous dirons que l'unité les convoque ;

– d'autre part, établir ce que l'unité apporte à la construction en agissant sur les éléments qu'elle a convoqués. Cette action a un effet sur la scène verbale en construction : c'est cet effet que l'unité évoque.

Avec cette nouvelle terminologie, on peut réécrire les définitions du sens de nos trois prépositions de la manière suivante :

La préposition *dans* convoque deux éléments de la scène verbale, E_X et E_Y , tels que E_Y soit construit comme un « fermé » pouvant servir de localisation pour E_X ; *dans* évoque alors une relation de localisation de E_X par l'intérieur de E_Y .

La préposition *sur* convoque deux éléments de la scène verbale, E_X et E_Y , tels que E_Y soit construit comme un « fermé » dont la frontière extérieure S_Y peut servir de localisation pour E_X ; *sur* évoque alors une relation de localisation de E_X par S_Y .

La préposition *sous* convoque deux éléments de la scène verbale, E_X et E_Y , tels que E_Y soit construit comme la frontière d'un « fermé » Z_Y pouvant servir de localisation pour E_X ; *sous* évoque alors une relation de localisation de E_X par l'intérieur de Z_Y .

Topologie de la scène verbale

Dans cette nouvelle perspective, la méthode de validation des définitions que nous venons de donner n'est plus du tout la même. Il n'est plus question de les évaluer en termes de relations géométriques dans le monde physique. On doit au contraire examiner l'effet de l'utilisation d'une préposition donnée sur la scène évoquée : il s'agit d'évaluer si les rapports que nous entretenons avec les objets (que Pierre Cadiot appelle les « propriétés extrinsèques¹⁷ ») justifient une telle présentation sur la scène verbale. Les rapports fonctionnels et autres propriétés socio-anthropologiques vont donc jouer un rôle aussi important que les relations géométriques dans le choix des prépositions. On rejoint alors les analyses de linguistes comme Vandeloise, mais, dans ce nouveau cadre, cela ne conduit pas à rejeter la nature topologique des prépositions.

16. VICTORRI, 1999, p. 96.

17. CADIOT et NEMO, 1997.

C'est au contraire ce qui définit la topologie des scènes verbales : chacune des relations topologiques est investie de propriétés socio-anthropologiques qui déterminent le sens de ces relations.

Reprenons dans cette optique quelques-uns des contre-exemples sur lesquels butent l'approche référentialiste. Dans l'exemple (19) – *des fleurs dans un vase* – selon notre analyse, le vase est présenté sur la scène verbale comme un espace fermé dont l'intérieur contient les fleurs. Effectivement, les fleurs sont confinées dans un espace qui est entièrement conçu comme faisant partie du vase¹⁸. Peu importe que dans l'espace physique, cet espace soit difficile à délimiter (aucune définition purement géométrique, en termes d'enveloppe convexe ou autre, n'est satisfaisante) : il n'empêche que, d'un point de vue fonctionnel, cet espace est aussi bien caractérisé que l'intérieur d'une boîte. De même, dans l'exemple (21) – *des nuages sur la ville* – les nuages sont présentés comme étant au contact de la ville, même si dans l'espace physique l'objet « ville » ne touche pas l'objet « nuages ». Sur la scène verbale, l'élément évoqué par la ville est composé de la ville elle-même et de son atmosphère, « chapeauté » en quelque sorte par les nuages. À l'inverse, dans *la ville sous les nuages*, à rapprocher de l'exemple (24), la ville est présentée comme incluse dans un espace délimité par les nuages. Ces constructions induisent des points de vue différents sur une même situation, qui correspondent à des objectifs discursifs distincts : dans le premier cas, ce dont on parle (le « thème », dans la terminologie linguistique), ce sont des nuages, que l'on évoque comme plus ou moins menaçants (voir la proximité avec *une menace sur la ville*, sur laquelle on reviendra) ; dans le second cas, c'est la ville qui est thématisée et les nuages permettent de préciser les circonstances dans lesquelles est présentée la ville.

Un autre exemple permettra de montrer que les effets de la relation topologique induite par une préposition peuvent largement dépasser la configuration physique de la scène évoquée. Comparons :

(27) *Un enfant dans les bras* ;

(28) *Un enfant sur les bras*.

Dans l'énoncé (27), la préposition *dans* induit la construction d'un espace évoqué par les bras dans lequel l'enfant se trouve inclus, d'où les effets de sens exprimant la protection, le refuge, etc. Dans l'expression (28), au contraire, l'accent est mis sur l'extériorité de l'enfant par rapport à l'espace évoqué par les bras, d'où l'effet de sens manifestant la charge, l'embarras, qui explique le sens « figuré » dans lequel cette expression est le plus souvent employée. Il faut d'ailleurs noter que cette notion de sens figuré n'a pas le même statut dans

18. Si l'on déplace le vase, on déplace du même coup cet espace et ce qu'il contient (à comparer avec *du fromage sous cloche*, où l'on peut enlever la cloche sans déplacer le fromage).

ce cadre théorique : d'une certaine manière, tous les sens sont figurés, puisque le sens d'un énoncé est toujours une représentation, une « figuration ». C'est dans l'interprétation de la scène verbale que peuvent se déceler des différences. Concrètement, quand un locuteur dit : « J'ai un enfant sur les bras », il construit toujours la même scène verbale, qu'il porte ou non un enfant au moment où il parle. Simplement, s'il n'en porte pas, ses interlocuteurs interpréteront cette scène verbale comme une intention de la part du locuteur de signifier qu'il se trouve dans une situation d'embarras que cette scène verbale peut parfaitement illustrer.

Les sens non spatiaux des prépositions spatiales

Cette dernière remarque nous mène à un problème que nous avons volontairement éludé jusqu'ici : celui des sens non spatiaux des prépositions que nous étudions. Il s'agit en fait d'un problème très général. Dans toutes les langues, les unités grammaticales qui servent à évoquer des relations spatiales ne sont généralement pas limitées à cet usage : elles servent aussi à exprimer des relations temporelles, causales, notionnelles, quantitatives, qualitatives, etc.

En voici quelques exemples pour les trois prépositions *sur*, *dans* et *sous*¹⁹ :

– Sens temporels :

(29) *Un appel sur ces entrefaites* ;

(30) *Une réponse dans la semaine* ;

(31) *Une réponse sous 48 heures*.

– Sens notionnels :

(32) *Une étude sur Victor Hugo* ;

(33) *Une contradiction dans un raisonnement* ;

(34) *Un bon cœur sous un air revêché*.

– Sens quantitatifs :

(35) *Une personne sur dix* ;

(36) *Un cadeau dans les cent francs*.

– Sens qualitatifs :

(37) *Un costume sur mesure* ;

(38) *Une famille dans la misère* ;

(39) *Une femme sous influence*.

Sans compter bien d'autres emplois, moins facilement classables, comme :

(40) *Une menace sur la ville* ;

19. Nous nous limitons toujours ici à des exemples de la forme X *p* Y, où X et Y sont des groupes nominaux. Une étude complète doit bien sûr prendre aussi en compte les autres constructions dans lesquelles entrent ces prépositions, notamment quand le groupe prépositional *p* Y est le complément d'un verbe (exemples : *tirer sur un lapin*, *compter sur ses amis*, *vivre dans la misère*, *agir sous la contrainte*, etc.). Voir VICTORRI, 1999, p. 98.

- (41) *Une entrée sur invitation ;*
- (42) *Un effort dans la bonne direction ;*
- (43) *Un gag dans une pièce ;*
- (44) *Un malade sous antibiotiques ;*
- (45) *Un article sous presse, etc.*

Comment expliquer cette profusion de sens ? Il est clair qu'un principe général est à l'œuvre : nos trois prépositions peuvent investir n'importe quel domaine de l'expérience, et leur sens est relativement prédictible, même si l'on ne doit pas exclure que quelques emplois soient complètement idiomatiques.

Les référentialistes invoquent généralement le mécanisme de la métaphore²⁰ pour rendre compte de ce phénomène : ces prépositions auraient un sens « premier », « concret », qui serait leur sens spatial, et les autres sens, plus « abstraits », en seraient dérivés par des opérations d'analogie entre le domaine spatial et un autre domaine, appelé « domaine cible », qui peut être temporel, notionnel, etc. Cette explication se heurte à deux difficultés :

- d'une part, comme on l'a abondamment commenté, le sens spatial n'est pas si « concret » et si « premier » que cela, puisqu'il ne peut pas s'exprimer simplement en termes de relations géométriques dans l'espace physique ;

- d'autre part, si l'on admet une mise en correspondance entre le domaine spatial et le domaine cible (cette correspondance n'étant d'ailleurs pas toujours facile à définir...), on ne voit pas bien ce qui peut être transféré du sens de la préposition d'un domaine vers l'autre, puisque ces prépositions sont définies en termes de relations spatiales et que ce sont justement ces propriétés qui sont perdues quand on quitte le domaine spatial...

On évite ces écueils en adoptant le cadre théorique des scènes verbales. Les propriétés topologiques des scènes verbales restent les mêmes, que les éléments évoqués sur ces scènes fassent référence à des objets du monde physique ou à des entités de n'importe quel autre domaine de l'expérience. Les prépositions effectuent le même travail de « convocation-évocation » dans tous les cas. Ainsi, dans l'énoncé (32) par exemple, l'expression *une étude sur Victor Hugo* présente l'étude comme étant au contact extérieur d'un domaine notionnel étiqueté « Victor Hugo » (il peut s'agir de sa vie, de son œuvre, de ses idées, etc.). Les deux propriétés de contact et d'extériorité se justifient ici pleinement : contact, parce qu'un travail sur un domaine implique que l'on rentre en interaction avec celui-ci, et extériorité, parce que tout travail implique un certain « recul ». (Notons que cette extériorité disparaît dans un énoncé comme *je suis plongé dans Victor Hugo*.) De même, l'expression (40), *une menace sur la ville*, construit la notion de menace comme étant au contact

20. LAKOFF et JOHNSON, 1980.

d'une entité complexe évoquée par la ville (il peut être question de la ville en tant qu'institution administrative, structure socio-économique, ensemble d'habitants, etc.), de la même manière que *des nuages sur la ville* configurerait les nuages comme étant au contact d'une entité « ville » d'une autre nature (qui, pour être physique, n'en est pas moins complexe, comme nous l'avons vu).

Les exemples temporels sont particulièrement significatifs. Le domaine temporel est intrinsèquement unidimensionnel, contrairement au domaine spatial. Néanmoins, les définitions topologiques que nous avons données s'y appliquent sans changements. Dans l'expression (29), *un appel sur ces entrefaites*, l'appel est localisé sur l'axe temporel par la frontière de ces entrefaites, en l'occurrence la borne supérieure de l'intervalle de temps ainsi désigné. Dans l'énoncé (30), *une réponse dans la semaine*, la réponse est située à l'intérieur de l'intervalle de la semaine, et dans l'exemple (31), *une réponse sous 48 heures*, elle est incluse dans la zone temporelle dont 48 heures fixe la frontière.

Nous arrêterons là nos commentaires sur ces exemples non spatiaux : il s'agissait simplement d'illustrer l'intérêt d'une démarche théorique qui mérite d'être approfondie, et qui, ne le cachons pas, est encore loin de résoudre tous les problèmes²¹.

L'opposition entre les prépositions en et dans

Définir le sens des prépositions en termes de relations topologiques sur la scène verbale permet aussi de rendre compte d'une singularité du français : l'existence de deux prépositions, de distribution complémentaire, qui expriment toutes les deux l'idée « d'intériorité ». Ce fait intrigant a suscité beaucoup de travaux dans divers cadres théoriques²². Nous nous limiterons à l'opposition entre *en* et *dans* pour des exemples tels que :

- (46) *Un livre en feu ;*
- (47) *Un livre dans le feu ;*
- (48) *Un château en ruines ;*
- (49) *Un château dans les ruines ;*
- (50) *Un homme en prison ;*
- (51) *Un homme dans une prison.*

21. Notamment, il est difficile d'interpréter dans ce cadre un emploi temporel pourtant très banal de *dans*, pour des exemples tels que *je pars dans une semaine*. En effet, ici *dans* marque une borne de l'intervalle d'une semaine, et non pas l'intérieur de l'intervalle, comme notre définition le prédirait... Voir VICTORRI, 1999, p. 102.

22. GOUGENHEIM, 1950 ; WAUGH, 1976 ; GUIMIER, 1978 ; CADIOT, 1997, chap. IX.

Les différences sont claires : avec l'énoncé (47), le livre n'est pas (encore) forcément en train de brûler contrairement à la situation évoquée par l'exemple (46), de même que le château est toujours debout dans le cas (49). Enfin dans l'énoncé (50), l'homme est forcément prisonnier, alors qu'il peut simplement visiter la prison (ou y travailler) dans l'exemple (51).

Une analyse approfondie des emplois de *en*, que nous ne détaillerons pas ici²³, conduit à proposer la définition suivante pour cette préposition :

La préposition *en* convoque deux éléments de la scène verbale, E_X et E_Y , tels que E_Y soit construit comme un « ouvert » pouvant qualifier l'intérieur de E_X , et *en* évoque une relation de qualification de l'intérieur de E_X par E_Y .

Si l'on compare cette définition avec celle de *dans*, on remarque deux différences essentielles : E_Y est construit par *en* comme un « ouvert », et pas comme un « fermé », et il sert à qualifier E_X , plutôt qu'à le localiser. Autrement dit, d'un point de vue topologique, E_Y n'est pas présenté comme une entité munie d'une frontière propre : comme il qualifie l'intérieur de E_X , il va, quand cela est possible, être construit avec la même extension spatiale que E_X . C'est le cas quand E_Y peut évoquer un matériau : *une table en chêne, un costume en lin*, etc. C'est aussi le cas dans nos deux exemples (46) et (48), où E_Y évoque un état, le feu, les ruines, alors que les mêmes E_Y évoquent dans les énoncés (47) et (49) une entité spatialement délimitée qui ne sert qu'à localiser E_X . Quant à l'expression (50), c'est le fait que la prison qualifie l'homme « de l'intérieur » qui conduit à l'effet de sens observé : seul un prisonnier peut être ainsi désigné.

Ainsi, la sémantique des unités grammaticales des langues peut apporter un éclairage intéressant à la question générale des rapports entre géométrie, langage et cognition. L'étude que nous avons présentée ici s'est limitée à trois ou quatre prépositions d'une seule langue, le français, et encore, même sur un objet aussi limité, elle a été beaucoup trop rapide et parcellaire pour être totalement concluante. Malgré tout, elle nous a permis de dégager les deux points suivants :

- d'abord, un résultat négatif : la géométrie sur laquelle opère la langue n'est en aucun cas réductible à la géométrie de l'espace physique ;
- ensuite, une hypothèse qui semble productive : la langue opèrerait sur un espace cognitif spécifique au langage, et, à son niveau structurel (grammatical), elle spécifierait essentiellement des relations topologiques dans cet espace, du moins si l'on s'en tient aux aspects purement géométriques²⁴.

23. VICTORRI, 1999, p. 101.

24. En fait, une étude d'autres marqueurs grammaticaux (exprimant en particulier le mouvement) montrent que la langue spécifie aussi, et peut-être surtout, des relations dynamiques sur la scène verbale.

À l'appui de cette hypothèse, il faut signaler que de nombreux travaux linguistiques font jouer un rôle central à la topologie pour représenter le sens de marqueurs grammaticaux. On peut citer notamment la grammaire cognitive de Ronald Langacker²⁵, les travaux de Leonard Talmy²⁶, ou encore la théorie énonciative d'Antoine Culioli²⁷. Ces travaux, portant sur de nombreuses langues, sont loin de se limiter à l'expression de l'espace : ils couvrent aussi pratiquement tous les autres domaines de la sémantique grammaticale (détermination, temps et aspect, modalités, etc.). Réinterprétés dans notre cadre théorique, ces travaux confortent donc l'hypothèse que la structure topologique des scènes verbales serait l'une de leurs propriétés essentielles, sur laquelle l'outillage grammatical des langues opèrerait systématiquement et de manière privilégiée.

Quelle conclusion peut-on en tirer pour les rapports entre géométrie et cognition ? On peut admettre que l'activité langagière reflète en grande partie l'activité cognitive qu'elle sert à communiquer. Autrement dit, que les opérations mises en œuvre au niveau structurel du langage sont des traces de mécanismes cognitifs fondamentaux que l'on peut retrouver dans toutes les activités cognitives. Dans ces conditions, notre hypothèse sur le langage nous conduit à conjecturer que les relations topologiques, dans des espaces cognitifs « abstraits », joueraient un rôle fondamental dans toutes les activités de notre système cognitif, alors que d'autres types de relations géométriques seraient plus spécifiques de certains domaines de la cognition humaine.

Bernard VICTORRI
(février 2002).

25. LANGACKER, 1987 et 1991 : 1987, chap. v, vi et vii, et 1991, chap. iii et v.

26. TALMY, 2000, vol. I, chap. iii, iv et v.

27. CULIOLI, 1990 et 1999 : 1990, t. I, p. 46-63 et 83-90, et 1999, t. II, p. 25-29, 83-93 et 127-178, t. III, p. 9-33.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- BRUGMAN (Claudia), 1988, *The Story of over. Polysemy, semantics and the structure of the lexicon*, New York-Londres, Garland Press.
- CADIOT (Pierre), 1997, *Les Prépositions abstraites en français*, Paris, Armand Colin.
- CADIOT (Pierre) et NEMO (François), 1997, « Propriétés extrinsèques en sémantique lexicale », *Journal of French Language Studies*, 7, p. 127-146.
- CADIOT (Pierre) et VISETTI (Yves-Marie), 2001, *Pour une théorie des formes sémantiques*, Paris, Presses universitaires de France.
- CULIOLI (Antoine), 1990 et 1999, *Pour une linguistique de l'énonciation*, Paris, Ophrys, 3 t. (t. I : 1990, t. II et III : 1999).
- DIRVEN (René) et PÜTZ (Martin), éd., 1996, *The Construal of space in language and thought*, Berlin, Mouton de Gruyter.
- FAUCONNIER (Gilles), 1984, *Espaces mentaux*, Paris, Minuit.
- FAUCONNIER (G.), 1997, *Mappings in thought and language*, Cambridge-New York, Cambridge University Press.
- GOSSELIN (Laurent), 1996, *Sémantique de la temporalité en français*, Louvain-la-Neuve, Duculot.
- GOSSELIN (L.), sous presse, *Temporalité et modalité*, Louvain-la-Neuve, Duculot.
- GOUGENHEIM (Georges), 1950, « Valeur fonctionnelle et valeur intrinsèque de la préposition *en* en français », *Journal de psychologie normale et pathologique, Grammaire et psychologie*, 43^e année, 1, p. 180-192.
- GUIMIER (Claude), 1978, « *En* et *dans* en français moderne. Étude sémantique et syntaxique », *Revue des langues romanes*, 53, p. 277-306.
- HERSKOVITS (Annette), 1986, *Language and spatial cognition*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KLEIBER (Georges), 1990, *La Sémantique du prototype. Catégories et sens lexical*, Paris, Presses universitaires de France.
- KLEIN (Félix), 1974, *Le Programme d'Erlangen*, trad. Eugène PADÉ, préf. Jean DIEUDONNÉ, postf. du P. François RUSSO (S. J.), Paris-Bruxelle-Montréal, Gauthier-Villars.
- LAKOFF (George), 1987, *Women, fire and dangerous things*, Chicago-Londres, University of Chicago Press.
- LAKOFF (George) et JOHNSON (Mark), 1980, *Metaphors we live by*, Chicago-Londres, University of Chicago Press.
- LANGACKER (Ronald), 1987 et 1991, *Foundations of cognitive grammar*, Stanford, CA, Stanford University Press, 2 t. (t. I : 1987, t. II : 1991).
- SVOROU (Soteria), 1993, *The Grammar of space*, Amsterdam-Philadelphie, J. Benjamins.
- TALMY (Leonard), 2000, *Toward a cognitive semantics*, Cambridge, MA, Massachussets Institute of Technology Press, 2 vol.

- VANDELOISE (Claude), 1993, « Méthodologie et analyses de la préposition *dans* », *Lexique*, 11, p. 15-40.
- VANDELOISE (C.), 1995, « De la matière à l'espace. La préposition *dans* », *Cahiers de grammaire*, 20, p. 123-145.
- VICTORRI (Bernard), 1999, « Le sens grammatical », *Langages*, 136, p. 85-105.
- WAUGH (Linda), 1976, « Lexical Meaning. The prepositions *en* and *dans* in french », *Lingua*, 59, p. 69-118.
- WITTGENSTEIN (Ludwig), 1958, *Philosophical investigations*, trad. Gertrude ANSCOMBE, 2^e éd., Oxford, Blackwell.

LA SPATIALITÉ ORIGINAIRE DU CORPS PROPRE

PHÉNOMÉNOLOGIE ET NEUROSCIENCES

Jean-Luc PETIT

RÉSUMÉ : La tradition phénoménologique s'oppose aux sciences cognitives contemporaines en ceci que le corps propre n'est pas, pour elle, une simple chose du monde physique dont l'esprit-cerveau contiendrait une représentation mentale, mais qu'il est plutôt constitué en son sens d'être pour le sujet par son usage et son appropriation active par ce même sujet, en tant qu'être agissant. Or, il existe une affinité, encore non reconnue, entre cette conception et celle qui ressort de la littérature en cartographie cérébrale des vingt dernières années, d'une neurodynamique morphogénétique fonctionnelle induite et modulée par l'expérience, en une relative autonomie par rapport aux structures anatomiques du corps comme aux frontières cytoarchitectoniques du cerveau. Tirant parti de cette affinité, nous prenons appui sur les données des neurosciences pour réhabiliter contre sa dévalorisation par les sciences cognitives la théorie de la constitution de Husserl, en revenant de ses adaptations ultérieures (Merleau-Ponty) à sa forme authentique, qui est celle de l'auto-constitution subjective (transcendante) du corps propre sur la base de l'expérience pratico-kinesthésique du « je meus mon corps ».

MOTS-CLÉS : corps propre, corps physique, constitution, neuroplasticité fonctionnelle.

ABSTRACT : *The phenomenological tradition stands opposed to contemporary cognitive science in this, that so far from being a mere thing in the physical world, a thing whose mind would contain some mental representation, the lived body is constituted in its sense of being for the subject by being used and actively appropriated by this self-same subject, as agent. Though not already generally acknowledged, there are important similarities between this conception and one, which emerges from the literature of brain cartography over the last twenty years, that of a functional morphogenetic neurodynamics, induced and modulated by experience in a relatively autonomous way, in relation both to the anatomic structures of the body, as well as the cytoarchitectonic frontiers of brain tissue. Taking advantage of the latter similarities, neuroscientific data can be employed to confirm the Husserlian theory of constitution against the attempts on the part of cognitive science to discredit it, and this whether we are talking about its later modification at the hands of Merleau-Ponty or the original version, which is that of a subjective (transcendental) auto-constitution of the lived body on the basis of the practico-kinæsthetic experience of « I move my body ».*

KEYWORDS : *lived body, physical body, constitution, functional neuroplasticity.*

ZUSAMMENFASSUNG : Die phänomenologische Tradition unterscheidet sich von der gegenwärtigen Kognitionswissenschaft dadurch, daß der Leib für sie kein einfacher Gegenstand der körperlichen Welt ist, dessen im Gehirn angesiedelter Geist eine mentale Darstellung enthält, sondern daß seine Bedeutung vielmehr darin besteht, daß er für das handelnde Subjekt existiert, indem er von diesem benutzt und aktiv angeeignet wird. Folglich besteht eine noch nicht erkannte Affinität zwischen dieser Konzeption und derjenigen, die aus der in den letzten zwanzig Jahren entstandenen Literatur zur Kartierung des Gehirns hervorgeht. Bei dieser handelt es sich um eine funktionale morphogenetische Neurodynamik, die durch die Erfahrung herausgebildet wurde, wobei der Geist eine gewisse Autonomie hinsichtlich der anatomischen Struktur und der durch den Aufbau der Zellen bedingten Grenzen des Gehirns gewinnt. Ausgehend von dieser Affinität stützen wir uns auf die Ergebnisse der Neurowissenschaft, um die Konstitutionstheorie von Husserl gegen ihre Entwertung durch die Kognitionswissenschaften zu verteidigen. Wir führen sie von ihren später erfolgten Anpassungen (Merleau-Ponty) auf ihre authentische Form zurück, die eine subjektive (transzendente) Selbstdarstellung des Leibes auf der Grundlage der Erfahrungsgrundlage der Kinästhesie (« Ich bewege meinen Körper ») darstellt.

STICHWÖRTER : Leib, physikalischer Körper, Konstitution, funktionale Neuroplastizität.

RIASSUNTO : La tradizione fenomenologica si oppone alle scienze cognitive contemporanee in quanto dal suo punto di vista il corpo vivente non è una mera cosa all'interno del mondo fisico, una cosa il cui cervello contenga delle rappresentazioni mentali, ma è piuttosto costituito nel suo senso di « essere per il soggetto in base al suo uso » ed in base alla sua appropriazione attiva da parte dello stesso soggetto, in quanto agente. Esiste un'affinità, non ancora riconosciuta, tra questa concezione e quella che scaturisce dalla letteratura sulla cartografia cerebrale degli ultimi vent'anni, quella di una neurodinamica morfogenetica, indotta e modulata dall'esperienza in modo relativamente autonomo, in relazione sia alle strutture anatomiche del corpo, sia alle frontiere citoarchitettoniche del cervello. Prendendo spunto da questa affinità prendiamo in considerazione i dati delle neuroscienze per riabilitare, contro la svalutazione da parte delle scienze cognitive, la teoria della costituzione di Husserl, e ricostruiamo, indipendentemente dalle modificazioni successive (Merleau-Ponty), la versione originaria ; questa è la teoria di una auto-costituzione soggettiva (trascendentale) del corpo vissuto sulla base dell'esperienza pratico-cinestetica del « io muovo il mio corpo ».

PAROLE CHIAVE : corpo proprio, corpo fisico, costituzione, neuroplasticità funzionale.

Jean-Luc PETIT, né en 1944, est professeur de philosophie à l'université Marc-Bloch Strasbourg II, et en délégation CNRS depuis septembre 2000 au laboratoire de Physiologie de l'action et de la perception au Collège de France (Paris). Il est spécialiste de la philosophie de l'action, de la phénoménologie du corps et de la philosophie des neurosciences et des sciences cognitives.

Adresse : Université Marc-Bloch Strasbourg II, 14, rue René-Descartes, F-67084 Strasbourg Cedex.

Courrier électronique : jean-luc.petit@college-de-france.fr
www.chez.com/jlpetit

Deux conceptions opposées sont en compétition pour l'interprétation des bases neurophysiologiques de notre expérience du corps. Pour l'une, le corps est une chose comme les autres dans l'espace physique, hormis le fait que nous vivons en lui, lequel est vu comme une circonstance contingente. La conscience du corps reposerait sur un mécanisme de représentation sensorielle projetant et reproduisant passivement dans le cerveau l'image (plus ou moins déformée) de la structure du corps, telle qu'elle est objectivement définie par sa description anatomique. Pour l'autre conception, le corps est l'organe de notre volonté, la matérialisation de nos intentions, le site de notre intervention transformatrice dans le monde. La conscience que nous en avons repose sur un processus d'appropriation active par le sujet des différentes parties de son corps, appropriation jamais définitive qui s'étend sur toute la vie du sujet et dépend de l'usage qu'il en fait dans ses activités pratiques quotidiennes.

D'après la première conception, il y a un corps « réel » et un corps représenté dans l'esprit (ou le cerveau), et entre ces deux « corps » la correspondance, normalement univoque, qui confère sa valeur cognitive à cette représentation, peut être perturbée par des anomalies accidentelles, causes d'illusions perceptives (membre fantôme). D'après la seconde, il n'y a pas lieu de dissocier un corps physique et un corps mental, parce qu'il n'y a pour le vivant qu'un seul corps, vécu comme ayant le sens d'être « son corps ». Et ce, même si l'identité de ce corps n'est pas donnée d'avance, ni figée, mais exprime la circularité dynamique d'une relation entre deux pôles mutuellement constituants, qui sont le corps comme organe dont on fait un usage actuel et le sens qu'on en a comme horizon de pouvoirs pratiques toujours disponibles. Notre conscience du corps serait moins le reflet d'une représentation cognitive du corps-objet, que la confiance de l'agent de pouvoir librement se mouvoir dans cet horizon d'anticipations sur les usages possibles de son corps.

On concède volontiers la variabilité de l'expérience du corps propre par rapport au corps anatomique. Le sujet peut perdre le sentiment d'appartenance d'une partie de son corps, continuer d'éprouver la présence d'un membre amputé, ou assimiler à son corps des objets inanimés que l'usage qu'il en fait lui associe. Mais on n'a pas encore tiré les conclusions qui s'imposent de cette variabilité de l'expérience corporelle et de la part que l'usage semble y avoir. Les preuves d'un perpétuel décalage, positif ou négatif, du corps propre par rapport au corps anatomique tendent pourtant à nous faire douter que le second doive nécessairement valoir comme la norme représentationnelle du premier. Il devient de plus en plus clair que cette norme ne s'impose pas du point de vue de l'organisme considéré dans son contexte de comportement, mais de celui

d'un observateur extérieur fasciné par l'objectivité de la chose physique. Loin d'être une reproduction de la structure du corps sans autre but que « cognitif », le corps propre est une création originale de son usage par l'agent. Dérivé du pouvoir autoformateur de l'action, ses transformations au cours de l'expérience, ainsi que le remodelage des cartes somato-sensorielles qui en assurent l'inscription dans le cerveau, demeurent sous le contrôle de l'action. Ce que nous savons de notre corps, c'est ce que nous en pouvons faire. Loin d'être le reflet d'une réalité donnée, il tire son sens pour nous d'un projet d'action. Mais, comment « naturaliser cette phénoménologie », sans ramener le corps propre au corps physique ?

I. – MERLEAU-PONTY, OU LE SCHÉMA CORPOREL DE SCHN.
PHÉNOMÉNOLOGUE ET SIMULATEUR

De même que la naturalisation de la phénoménologie de l'intentionnalité de la conscience s'adresse assez naturellement au Husserl des *Ideen I*¹, de même la naturalisation de la phénoménologie de l'expérience du corps propre tend à se tourner vers Maurice Merleau-Ponty. Ne lui doit-on pas, dans les cent premières pages de la première partie de sa *Phénoménologie de la perception*, l'identification du corps propre avec le *schéma corporel* de la tradition de neurologie clinique du début du siècle dernier² ? Et la prochaine explication par les neurosciences contemporaines de ce schéma corporel sur la base de la *somatotopie des cartes fonctionnelles corticales*, ne nous donne-t-elle pas à penser que la naturalisation de la phénoménologie de notre expérience du corps propre n'est déjà plus une éventualité spéculative, mais qu'elle a atteint désormais le stade de la réalisation effective ?

Cette passerelle entre phénoménologie et science est cependant fragile en plus d'un point. D'abord, au plan empirique, une très forte présomption de simulation concernant « le cas Schneider » de Kurt Goldstein a fait planer un doute sur sa théorie gestaltiste de l'expérience spatiale fondée sur la différence du « désigner » (*Zeigen*) et du « saisir » (*Greifen*), et par contrecoup sur la solidité de l'appui qu'a cru y trouver Merleau-Ponty³. La mise au jour d'une double dissociation entre *schéma corporel* et *image du corps* a créé une discontinuité entre la tradition en psychologie qui les confondait et l'état de la question actuel⁴. Un contraste, encore inexpliqué, entre la rigidité, le manque

1. PETITOT, VARELA, PACHOUD et ROY, éd., 1999.

2. MERLEAU-PONTY, 1945, p. 114-179 ; HEAD et HOLMES, 1911.

3. GOLDENBERG, 2001.

4. PAILLARD, 1999 ; GALLAGHER, BUTTERWORTH, LEW et COLE, 1998 ; GALLAGHER et MELTZOFF, 1996.

d'adaptabilité des distorsions cognitives du schéma corporel et la plasticité adaptative de la somatotopie fonctionnelle du cerveau suggère l'existence d'une relation paradoxale entre les deux termes, qui rend préférable de chercher une autre voie de naturalisation. Peut-être y a-t-il même une voie plus *directe* reliant la phénoménologie du corps propre, au sens primitif de Husserl, à la compréhension qu'ont les neurosciences contemporaines du dynamisme morphogénétique du fonctionnement cérébral.

Ensuite, au plan épistémologique et philosophique, Merleau-Ponty peut difficilement être présenté comme promoteur d'une naturalisation de la phénoménologie, vu qu'il renvoie dos à dos « le cartésianisme intellectualiste » de la théorie de la conscience transcendantale de Husserl et « le cartésianisme mécaniste » de la physiologie, dont la cartographie du cerveau est le fruit. Sa phénoménologie du corps est biaisée en faveur d'un holisme gestaltiste qui ne fait pas seulement difficulté pour le dialogue entre phénoménologie et neurosciences, mais qui, de plus, est étranger à Husserl et n'a donc pas à être invoqué si l'on s'en tient à « la phénoménologie du corps authentique », comme interlocuteur potentiel de ces neurosciences. On tend à oublier, en effet, que ce qu'on trouve chez Husserl comme ébauche d'une phénoménologie du corps propre ne prétend pas à une « philosophie du corps » comme le phénoménologue français, mais se veut une méthode explicitement fictionnelle qui part d'une réduction abstraite aux conditions minimales indispensables (les kinesthèses) de la possibilité pour un sujet d'expérience de donner sens au corps propre. Sur cette base, il procède à la constitution progressive, couche de sens par couche de sens, du sens d'être du corps, en tant que pris dans sa relation interactive avec le monde habité par le sujet qui s'y incarne. On ne trouve pas chez Merleau-Ponty une pareille stratification sémantico-pragmatique des étapes successives de la constitution du corps propre, comme sens d'être pour l'agent. Au lieu de cela, il s'en tient à un quiétisme quasi bouddhiste du rapport du corps au monde, puisque dans la perspective de correspondance gestaltiste de la spatialité du corps et de l'espace environnant qui est la sienne, tout est toujours déjà là, sans que nous ayons rien de particulier à *faire* pour qu'il en soit ainsi. Rien à faire, sinon s'abstenir des abstractions et constructions de l'intellectualisme, philosophique ou scientifique.

Nous nous proposons dans ce qui suit de rétablir la solidarité que Merleau-Ponty s'est efforcé de briser, et qu'il semble effectivement avoir brisée dans l'esprit des « philosophes de l'incarnation », entre la phénoménologie du corps propre et le programme philosophique de la constitution transcendantale. En effet, quels que soient ses mérites, sa description du corps propre est orientée par le procès qu'il a instruit contre l'objectivisme de la science de son temps, qu'il amalgame avec l'intellectualisme de la tradition philosophique cartésienne dont il retrouve l'héritage dans le transcendantalisme husserlien. Voulant sauvegarder le noyau vivant de la phénoménologie de Husserl, il l'a débarrassée de sa théorie de la constitution transcendantale, dont il dénonçait l'idéalisme.

Ce noyau étant pour lui la philosophie de l'incarnation de l'esprit dans le corps, toute la phénoménologie de l'expérience humaine devait pouvoir être ressaisie sur la seule base de notre être incarné en donnant congé au sujet transcendantal, ou en lui déniait tout pouvoir constituant.

II. – LA THÉORIE DE LA CONSTITUTION TRANSCENDANTALE DE HUSSERL

Il est essentiel à mon point de vue de *rejeter* l'idée qu'il y aurait une démarche épistémologique spéciale à mettre en œuvre pour « franchir le fossé » entre les recherches en cours en neurosciences sur les corrélats neurophysiologiques du schéma corporel, d'une part, la phénoménologie du corps propre, comprise sans concession à l'empirisme lockien de l'idéologie cognitiviste, comme théorie de la constitution transcendantale solidaire de l'idéalisme transcendantal husserlien, d'autre part. Le fossé prétendu n'existant que dans la représentation de ceux qui n'ont pas compris la pertinence neurophysiologique de la constitution transcendantale, ou pas vu l'identité du problème qu'elle aborde et de celui que traitent ces neurosciences, n'a pas à être franchi, ni comblé, mais récusé. Ce qui ne me dispense pas de la tâche consistant à faire voir, en pointant le doigt, ici et là, sur ce qui est en phase, et faire comprendre cette pertinence inaperçue et cette identité méconnue. Mais le travail n'est pas le même que s'il s'agissait de construire, à nouveaux frais, une passerelle entre des modes d'approche procédant d'attitudes incompatibles.

Se localiser dans son corps – en quoi cela peut-il être un problème ? La problématique du corps propre est plus évidente dans le contexte de la théorie de la constitution transcendantale *des choses externes*. Si toute chose doit son sens d'être aux actes de celui qui la perçoit, comment comprendre que ce sujet à son tour puisse être localisé lui-même dans une certaine chose particulière : *ce* corps, le cerveau dans *cette* tête ? Ou bien cette chose devra contenir le monde entier, ou bien le monde perçu sera privé de support.

Ici s'impose un bref retour sur la révolution copernicienne. Kant avait prétendu qu'il voulait établir la contribution des activités du sujet à la connaissance empirique autant qu'à la perception. Au lieu de cela, il avait énoncé en les présentant comme des conditions *a priori* de la possibilité de la connaissance inhérentes à la nature humaine quelques-uns des présupposés de la mécanique de Newton : universalité de l'espace et du temps, permanence de la substance dans ses changements, divisibilité des grandeurs en parties homogènes, continuité graduelle du réel, universalité de la causalité, égalité de l'action et de la réaction. Si intéressant que ce soit d'apprendre que ce mode de conceptualisation de la nature repose sur la double présupposition d'une esthétique transcendantale des formes de l'expérience et d'une analytique

transcendantale des principes de la connaissance, cela ne satisfait qu'en partie les exigences issues de la révolution copernicienne.

Que voulons-nous en phénoménologie ? Assister à la naissance du monde objectif en nous replaçant dans l'actualité effective des actes de celui pour qui il y a un tel monde. Pour cela, nous savons (depuis Descartes) qu'il faut commencer par s'abstenir de tout présupposé, mettre en suspens la croyance à une réalité transcendante, et s'en tenir provisoirement à cela seul qui est actuellement et effectivement donné dans les vécus de la perception. Cette réduction transcendantale ne laisse que les images du champ visuel et les sensations de mouvement (oculaires, etc.). Il est vrai que ces éléments ne sont pas des atomes sans vie comme les *sense data* de l'empirisme traditionnel. Ces images ont une prétention à valoir plus qu'elles-mêmes, dans la mesure où elles esquissent « la chose » qui se présente dans la suite des aspects qu'elles en montrent. Alternativement, l'unité et l'identité de cette chose sont posées comme pôle idéal de visée par un acte de visée intentionnelle qui les traverse. Toutefois, cette idéalisation naissante demeure précaire, puisqu'une divergence dans le cours ultérieur de l'expérience peut contraindre d'y renoncer. Dépouillé du dogmatisme rationnel de l'*Aufklärung*, ramené au plan vécu, l'*a priori* kantien revient à de telles anticipations de la perception.

Il faut se garder de prendre cet acte de visée intentionnelle pour une défaillance et une régression vers ce qu'on a appelé « la philosophie édifiante du sujet ». En y regardant de plus près, la vie intentionnelle dont sont animées les images visuelles ne contient rien d'autre que les contraintes directement exercées sur celles-ci par leur « motivation », ou mise en mouvement continue due aux kinesthèses, rien d'autre que l'effet de la combinaison de ces contraintes variationnelles avec l'hétérogénéité de la structure du champ visuel, qui détermine l'existence d'un optimum de présentation pour l'éventuel objet. La flèche de visée intentionnelle consiste en ce que les images mobilisées le sont d'un mouvement continu, dont j'éprouve intérieurement la continuité, et que, simultanément, un pôle privilégié émerge du champ lui-même comme but vers lequel je trouve mon regard spontanément orienté en son mouvement. À cette objectivation initiale vont se superposer les couches de signification objective apportées par l'introduction de chaque nouveau système kinesthésique : « la chose » oculo-motrice devient simple apparence pour « la chose » céphalo-motrice, qui à son tour est apparence pour « la chose » locomotrice. À travers toutes ces couches, le seul maintien (jamais définitivement acquis) de l'unité et de l'identité de la chose « fait que » elle aurait pour celui qui la perçoit le sens d'être objectivement réel qu'elle a.

III. 1. – LA CONSTITUTION KINESTHÉSIQUE DU CORPS PROPRE

Complète dès les *Leçons de 1907 (Chose et espace)*, cette théorie de la constitution de la chose spatiale n'inclut pas celle du corps propre. Au dernier paragraphe avant la considération finale, Husserl y déclare : « En général, nous n'avons pas pris en considération le corps propre [...]. Nous avons fait comme si le je était un esprit pourvu d'yeux, un esprit désincarné⁵. »

La constitution du corps propre est la contribution originale à cette théorie de la constitution transcendantale d'un ensemble de manuscrits inédits du début des années 1930, qu'on situera entre les *Méditations cartésiennes* (les conférences de 1929 à la Sorbonne) et la prise de pouvoir d'Hitler (1933). Même si elle n'a pas bénéficié d'une forme d'exposé aussi systématique que la constitution de la chose, cette contribution n'en est pas une simple extension. Il a fallu un considérable effort d'élaboration pour remettre en cause un pré-supposé kantien inaperçu, selon lequel les choses sont de constitution *esthétique* : *visuelle*, tandis que les mouvements du sujet devraient être subordonnés à la variation des images visuelles, leur optimisation, la compensation de leurs mouvements, etc. Cette mise en cause était nécessaire à la détermination de la place du corps propre dans le monde des choses, car un monde purement visuel ne lui en fait aucune. Cumulant les anomalies, puisque dans un ici permanent, il n'a ni mouvement d'éloignement ni dégradés en perspective comme les choses ordinaires, le corps propre fût resté une récalcitrante exception à la constitution (à côté de quelques autres : choses lointaines, autrui, choses du social et de la culture). Retirant à la vision sa position privilégiée, cause de cette situation paradoxale, Husserl a réinterprété l'expérience du corps propre comme celle de l'organe de *l'intervention* du je dans le monde. La conception traditionnelle des kinesthèses – « sensations de mouvement » – s'avérant incompatible avec cette interprétation, il a osé rattacher ces kinesthèses à la volonté et a entrepris de les repenser sous la catégorie de la *praxis*.

Que le sens d'être du corps propre est reconnu comme produit de constitution veut dire qu'on n'accepte plus que son unité totale, déjà comme organisme, mais aussi comme corps psychophysique, incarnation du corrélat subjectif de la constitution du sens d'être de toute chose, etc., soit assumée sans plus comme une donnée initiale. Ce qui nous impose la tâche d'esquisser les étapes de *sa genèse transcendantale* (genèse *a priori* des conditions du sens du corps propre pour le je, à ne pas confondre avec une psychologie de l'enfant, genèse empirique de l'esprit adulte). Si paradoxal que cela puisse paraître, il est vrai en ce sens-là qu'*avant* d'avoir un corps, nous avons deux mains. Ces mains ne sont pas constituées comme images visuelles, mode d'apparence qui ne les différencie pas radicalement des autres choses. Quand je bouge mes mains, je

5. HUSSERL, 1973, § 83, p. 279.

les vois se déplacer sur le fond des choses de l'environnement. Comme simples objets d'expérience visuelle, sans doute, elles se présentent sous divers angles, s'éloignent ou se rapprochent. Mais cela ne se peut que dans d'étroites limites qui en font des quasi-objets visuels fortement lacunaires, puisqu'elles sont normalement continues avec le reste de mon corps, lui-même soustrait à une présentation visuelle complète. Que leur déplacement çà et là réponde à l'arbitraire de mon vouloir, en revanche, est ce qui leur confère un sens d'être complet. Elles se constituent par leur fonction haptique, par le fait que j'ai confiance que je peux m'en servir, et m'en sers effectivement quand je veux comme organes de mon agir : « premiers objets pratiques⁶ ».

III. 2. – L'OUTIL, PROLONGEMENT DU CORPS PROPRE

Le corps propre n'est peut-être pas une chose à part entière. Mais que se passe-t-il si je prends l'une quelconque de ces choses ? Naturellement, rien – phénoménologiquement, une soudaine transformation d'un système kinesthésique dans un autre. Saisir en main une chose l'arrache au système général où elle se constituait normalement comme chose, celui de son orientation en perspective par rapport au corps propre, point-zéro, selon les dimensions : droite-gauche, haut-bas, devant-derrrière, proche-lointain. Système qui relativise déjà l'ensemble des choses extérieures par rapport à mon corps et subordonne leur constitution comme choses à mes kinesthèses, puisqu'elles doivent leur permanence, leur mouvement et leur repos à mon pouvoir de « les accompagner ». Sans transition, cette chose est « dépouillée de ses modes d'orientation par rapport à moi » et intégrée à un système complètement différent, celui de l'union privilégiée au corps propre qui se l'approprie. Tous les objets qui lui sont liés deviennent identiquement objets-zéro d'orientation pour le reste. Dans les prétendues anomalies du corps par rapport aux normes de la constitution, on discerne les critères d'appartenance à ce nouveau système qui y étaient occultés dans l'optique de la constitution des simples choses. Altérations des apparences dues à une intervention active dont c'est l'impact sur l'Esthétique transcendantale, s'y retrouvent les indices de mon pouvoir de basculer à volonté d'un régime d'activité kinesthésique dans l'autre⁷.

L'analyse de l'usage d'outil y relève une structure phénoménologique remarquable, qu'on devine également en vigueur dans tous les cas d'objets privés d'orientation par leur appropriation au corps propre : vêtements, meubles, véhicules. Dans l'usage qu'on en fait, l'outil s'éprouve comme extension du corps propre : comment cela est-il possible ? L'outil « en lui-même » est

6. HUSSERL, ms. D10 III, 1932, p. 42-43.

7. HUSSERL, ms. D10 I, 1932, p. 13-17.

une chose extracorporelle qui ne saurait avoir les kinesthèses comme un membre. Mais, précisément, en soi l'outil en est aussi peu un que mon manuscrit que je jette au panier quand je le trouve mauvais, et que je jette en ce cas comme papier, non comme manuscrit. L'outil n'en est un que dans la mesure où il « se lie » à un membre et qu'en cette liaison, quoique non kinesthésique, il participe aux kinesthèses de celui-ci. Cette participation demeurant unilatérale et limitée à l'usage effectif, l'outil ne reçoit pas à proprement parler en lui (comme s'il pouvait avoir une intériorité pour cela !) les kinesthèses auxquelles il participe, de sorte qu'on doit se garder de le qualifier de nouvel « organe ». L'outil prend son sens dans un horizon d'affection solidaire d'un projet pratique, horizon sous lequel l'agent a une appréhension par anticipation de son usage, qui enveloppe le geste de le saisir en un « voir comme » conduisant au faire, non issu du voir. L'atelier, le bureau, la chambre sont de telles sphères d'anticipation de la volonté, plus fondamentalement que de perception visuelle⁸.

III. 3. – « D'UNE MAIN JE TÂTE MON AUTRE MAIN »

Cité dans des contextes trop divers pour avoir été bien compris, l'exemple « d'une main je tâte mon autre main » décrit, en fait, l'opération d'autoconstitution transcendante du corps propre. Il en existe plusieurs versions, qui diffèrent selon les étapes de maturation de la théorie :

1907⁹ : Normalement, c'est-à-dire dans la constitution des choses extérieures, les kinesthèses ne sont pas des sensations exposantes de la matière de l'objet, fonction des images visuelles. Tout le visuel s'objective dans la chose, tandis que le kinesthésique retombe dans le sujet percevant. Dans le cas spécial de la constitution de la chose « corps propre », les kinesthèses jouent un rôle plus ambigu. D'une part, en association avec les sensations tactiles avec lesquelles elles s'entrelacent dans l'acte de tâter, elles servent à l'exposition des aspects tactiles et moteurs de ce corps physique. D'autre part, au cours de cette même activité, le corps propre, en même temps qu'il s'objective, se subjectivise aussi d'une certaine manière, mais seulement par contrecoup. Les kinesthèses qui me dévoilent ces propriétés de mon corps comme chose, je les prends à mon compte. Assomption qui équivaut à « localiser » à l'intérieur de ce corps-chose les propriétés subjectives que sont les vécus de mouvements corporels (actifs ou passifs). Mais, pour qu'il y ait localisation, il faut que ce corps-chose soit lui-même déjà constitué, sinon antérieurement et indépendamment, du moins sous un autre rapport que celui sous lequel il est le

8. HUSSERL, mss B III 9, 1931, p. 157 ; D10 I, 1932, p. 18-20 ; D12 III, 1931, p. 22.

9. HUSSERL, 1973, § 47, p. 161-163.

siège de ces kinesthèses. De sorte que tant que le corps propre se constitue comme ce corps-chose en lequel sont insérées les kinesthèses qui servent à le constituer, il est prématuré de parler d'autoconstitution. En tant que les kinesthèses déploient les aspects tactiles et moteurs du corps, elles sont exposantes et constituantes, donc originaires. En tant qu'elles s'insèrent dans le corps subjectif plutôt qu'elles ne sont imputées à la chose spatiale qu'il est aussi, elles sont dépendantes de l'existence pour le sujet de cette chose. Ce qui, selon la distinction traditionnelle, les assimile à des propriétés secondes, comme le son par rapport au volume de la pièce. Mais doit-on faire dépendre les propriétés subjectives du corps des spatiales et poser celles-ci, non celles-là, comme originellement constituantes ? La conception des kinesthèses comme actions répond à cette question.

1921¹⁰ : Notant que les kinesthèses motivant les apparences des choses n'ont pas d'emblée la signification (*Bedeutung*) de mouvements du corps propre, Husserl introduit pour y remédier la notion d'un espace d'orientation haptique indépendant de « l'espace réel où je me trouve ». En un premier temps, la signification des kinesthèses se limite à leur fonction motivante. Ce n'est qu'en un second temps (*hinterher*) qu'elles acquièrent la signification de mouvements haptiques du corps propre, lui-même haptiquement constitué. Cette acquisition d'une signification nouvelle se produit grâce à l'union associative du système kinesthésique d'un organe avec une partie du corps propre haptique. Dans cette association, chaque kinesthèse de ce système, précisément dans la mesure où elle occupe une certaine position (*Lage*) en ce système, reçoit la signification d'un membre du corps placé (*gelegenen*) d'une certaine manière, c'est-à-dire avec une certaine orientation dans l'espace d'orientation haptique. Quand je tâte ma main gauche avec ma main droite, je trouve ma main gauche dans une certaine orientation dans mon espace d'orientation haptique. À cette occasion, ma main droite elle-même n'apparaît pas haptiquement. Ses sensations tactiles sont haptiquement appréhendées pour le compte de la main gauche touchée. À chaque changement de position de cette main gauche dans l'espace haptique, une nouvelle donnée accède à la conscience dans l'actualisation effective du système kinesthésique de la main droite touchante. Cette donnée de la main droite renvoie (*weist hin*) à la main gauche dans une certaine position (*Stellung*) de l'espace d'orientation haptique. C'est uniquement par cette association, dit Husserl, qu'un libre mouvement dans les décours de chaque système kinesthésique reçoit sa signification de corps propre (*Leibesbedeutung*).

1931¹¹ : Dans la conception parvenue à maturité du processus par lequel se constitue le corps propre, il faut d'abord souligner le passage de la modalité

10. HUSSERL, ms. D13 I, 1921, p. 52.

11. HUSSERL, ms. D12 III, 1931, p. 14-26.

visuelle à la modalité tactile. L'expérience visuelle nous présente le corps comme extérieur. Si le corps nous est donné à la fois comme corps et comme propre, c'est par l'expérience tactile. Limitons-nous aux ressources constituantes, objectivantes-subjectivantes, du toucher, avec sa structure de corrélation remarquable en « touchant-touché » renvoyant à la condition somatologique de la dualité et de l'opposabilité des organes du toucher : les deux mains. La question est de comprendre que des actes directement effectuels par le je, comme événements de son flux vécu, puissent amener ce qui s'esquisse dans le champ tactile comme fantôme du corps propre à l'effectivité actuelle de son sens d'être. En quoi comporte-t-elle une difficulté ? En ceci, que l'on comprend bien que le tâter d'une main par l'autre fait progressivement apparaître la surface de cette autre main et remplit cette surface de ses qualités tactilo-motrices ; on comprend également que l'activation des kinesthèses de la main tâtante en fonction d'organe de présentation objectivante de l'autre main soit mise au compte du je du « je me meus » ; mais on ne comprend pas encore par là ce corps comme le corps propre, « organe du je ». Le fantôme tactile du corps enveloppe, à la rigueur, une certaine masse de kinesthèses motrices. Mais d'une façon contingente qui n'implique pas que ces kinesthèses animent dans l'immanence ce corps dont, parallèlement, elles motivent la variation des apparitions dans le tâter d'une main par l'autre.

La solution est que dans l'acte même de la constitution de cette surface tactile enveloppante, les kinesthèses motivantes soient appréhendées comme émanations des intentionnalités motrices ou des actions du je, au lieu qu'elles soient seulement mises à son compte comme sensations de mouvement associées à la présentation des diverses parties du corps touché. Or, c'est précisément cela qui est acquis avec la distinction entre kinesthèses perspectivantes et kinesthèses *volontaires*, ou *pratiques*, et avec le principe que la constitution du corps propre diffère de celle des autres corps dans la mesure où les kinesthèses pratiques y fonctionnent, exceptionnellement, par le renversement du touché en touchant, comme perspectivantes. De la surface de ce corps comme distribution du champ tactile, la transition a désormais eu lieu à son extension spatiale comme lieu-source originaire d'intervention de l'action. Les propriétés subjectives, de qualités secondes s'ajoutant à son remplissage qualitatif, ont obtenu leur reconnaissance comme intentionnalités constituantes de la volonté. En découle une plasticité dynamique de la forme spatiale du corps propre liée à la contribution de l'intentionnalité volontaire à sa constitution. Modulée en continu par l'action, l'extension intérieurement éprouvée du corps propre agissant n'est pas simple occupation d'un espace délimité par une frontière fixement définie où s'arrêterait l'intérieur et commencerait l'extérieur, mais s'étend « arbitrairement » en fonction de ce qui lui sert d'organe.

IV. – UNE PROPOSITION DE NATURALISATION
POUR LA PHÉNOMÉNOLOGIE DU CORPS

Cette méthode de constitution transcendantale du corps propre en son sens d'être pour l'agent, non par une réflexion au plan cognitif, mais par l'activité même, tactilo-kinesthésique, de cet agent en tant qu'incarné dans son corps, présente-t-elle donc une quelconque pertinence scientifique comme solution de rechange à la doctrine cognitiviste de la représentation mentale d'un corps-objet physique préconstitué à cette représentation ? Nous soutenons que c'est le cas en nous fondant sur le potentiel de subversion du paradigme représentationnel que recèle la plasticité des cartes somatotopiques corticales et le dynamisme de leur remaniement incessant en fonction de l'expérience, éventuellement traumatique ou pathologique, de l'individu.

Que puis-je faire pour mettre sous les yeux l'identité du problème de la constitution du corps propre et de la recherche des corrélats neurobiologiques du schéma corporel ? Rappeler que la solution des paradoxes de l'expérience corporelle propre a reposé sur la différenciation et le fusionnement partiel des deux types de kinesthèses : les kinesthèses tactiles objectivantes, qui présentent le corps propre comme chose spatiale, et les kinesthèses pratiques, grâce auxquelles les organes en mouvement sont éprouvés en tant qu'organes du je. Et rapprocher le principe de cette solution des récents témoignages de l'existence d'influences modulatrices de *la motricité volontaire et du comportement intentionnel* sur la plasticité des cartes somatotopiques corticales. À l'intuition de Husserl : que l'intentionnalité de l'action contribue à la constitution du corps propre, répond l'hypothèse que la fonction proprioceptive ne se limiterait pas aux afférences périphériques centripètes, mais que la somatotopie fonctionnelle impliquerait en son dynamisme des signaux intracorticaux efférents, réentrants et réafférents, grâce auxquels les « cartes » somatomotrices et somatosensorielles s'influenceraient mutuellement de façon continue durant tout le cours d'expérience du sujet. Ce qui confère à cette *somatotopie* le caractère d'une somatodynamique fort différente de la rigide isomorphie évoquée par la métaphore cartographique.

Husserl aurait ainsi anticipé, en introduisant des kinesthèses pratiques à côté des kinesthèses sensorielles, sur les résultats récents qui viennent confirmer les conjectures d'un Gerald Edelman sur la *réentrance*, comme facteur de ségrégation fonctionnelle des cartes corticales sous-jacentes à la catégorisation perceptive de l'environnement, et, ajouterons-nous, à la reconnaissance du corps de l'agent comme corps propre¹². Que la localisation des propriétés subjectives dans le corps requiert l'intégration des champs tactiles et des kinesthèses pratiques renvoie au fait, en voie d'établissement par la recherche,

12. EDELMAN, 1989.

que la somatotopie de la représentation corticale des régions sensibles du corps est médiée par l'usage que le sujet fait de son corps dans son comportement, et donc par la somatotopie motrice de son action volontaire, et par l'inscription de celle-ci dans la mémoire motrice comme schème moteur. Le circuit complet et la continuelle réactivation de ces médiations constitue, au niveau du métabolisme cérébral, le fondement de la spatialisation de l'expérience du sujet agissant dans le corps propre.

En vérité, les opérations de la constitution transcendantale du sens d'être du corps propre seraient une prestidigitation bien vaine, si elles ne s'enracinaient pas dans l'organisation corporelle et si elles ne mettaient pas celle-ci « en jeu », de façon, peut-être, plus éminente que l'activité ordinaire. Cet enracinement est requis, au demeurant, par une théorie de la signification *incarnée*, qui prétend se situer dans le sillage de l'expérience vécue, non dans celui des conventions arbitraires de la langue. L'acte de « donner sens » à son corps tire son absolu sérieux du fait qu'il prolonge en l'explicitant une esquisse de mouvement corporel qui place cet acte dans l'horizon du système kinesthésique, non sous l'autorité d'une convention préexistante ayant fixé le sens d'une expression. Dans l'exemple « d'une main je touche mon autre main », l'application des kinesthèses de la main touchante sur celles de la main touchée, les premières ayant le caractère de kinesthèses pratiques subjectivantes, les secondes le caractère de kinesthèses sensorielles objectivantes, doit être une opération telle qu'elle convienne à l'activation sélective de certaines structures somatiques, grâce auxquelles, à travers cette manipulation d'apparence anodine, la présence à soi du corps s'atteste d'elle-même. S'atteste dans une expérience singulière privilégiée, sans doute, mais sans préjudice pour la continuité sans rupture de cette expérience particulière avec toutes les autres dans le même flux expérientiel du sujet. L'opération du corps propre *s'appliquant sur soi-même* à la fois comme *operandum* et comme opérateur, renvoie à une disposition profonde à la réplicabilité dans la mouvance avec maintien dynamique des configurations homologues, qu'a récemment mise en évidence la mesure des territoires corticaux des représentations somatotopiques et celle des champs récepteurs cutanés ou musculaires des neurones de leur substrat cérébral.

La constitution transcendantale dégage de mon flux d'expérience les opérations par lesquelles je peux tirer de mes propres ressources le sens d'être du corps propre. Elle m'assure que je possède la capacité, pourvu que je procède d'une manière assez systématique, d'engendrer mon corps comme entité douée d'un sens unitaire à partir du sens plus originaire que j'ai d'avoir deux mains, sens que je retire du fait de m'en servir dans mes tâches quotidiennes. Au-delà d'une justification rationnelle de la confiance de l'agent que je suis en l'unité et la continuité permanentes de toutes les parties du corps dans l'immanence duquel il est présentement en vigueur, la constitution demeure une potentialité d'effectuation de sens largement abstraite. Ne serait-ce que pour

une raison triviale : je n'effectue pas actuellement tous les mouvements que me permettraient les articulations de mes bras et de mes jambes, l'élasticité de leurs tendons, la force de leurs muscles, etc. J'en dispose, sans doute, mais seulement comme horizon de mes mouvements et posture actuels. Outre qu'elle se déploie dans une fiction méthodologique, c'est la pauvreté et l'impuissance supposées de sa base solipsiste qui a prêté le flanc à objection. Comment le sujet peut-il s'assurer par soi seul de la possession de son propre corps, si la notion même du propre suppose la différence du propre et de l'étranger, la notion du mien, la différence du mien et du tien ? Or, c'est peut-être par ce solipsisme, justement, que la constitution trouve son fondement neuro-biologique dans l'autonomie du corps propre. Car, si les autres peuvent toujours m'attribuer la propriété de ce corps sans que je me l'approprie pour autant, c'est que le corps propre ne saurait être qu'une création originale de celui qui l'habite. Précisément parce qu'elle s'est voulue retour aux sources intérieures de ce pouvoir d'autodotation de sens à soi-même, la constitution se laisse comprendre aujourd'hui, entre toutes les méthodes réflexives, comme la mieux à même de reployer la conscience vers ses origines biologiques.

Au plan phénoménologique, je me concentre sur la transition de ma main touchée à ma main touchante, j'entrelace attentivement les kinesthèses sensorielles visuelles, tactiles et proprioceptives de la main touchée avec les kinesthèses motrices de la main touchante qui remontent à l'acte volontaire du je, et, du même mouvement, j'éprouve que la surface sentie de mon corps se referme progressivement sur une chair tout animée d'intentionnalités pratiques, qu'elle enveloppe de façon continue et complète. Au plan neurobiologique, cette activité ne fait pas que solliciter alternativement les deux hémisphères cérébraux, en raison de la stricte contralatéralité des mains par rapport à leur territoire de représentation corticale. Elle met en concordance les déplacements de l'attention perceptive et le changement des intentions motrices dans un même flux de conscience avec le dynamisme morphogénétique du fonctionnement cérébral, lequel modélise parallèlement en tous les relais d'un réseau largement distribué, et reconfigure en permanence sur de multiples territoires anatomiques simultanément activés, la totalité du corps en fonction de l'usage différentiel des organes dans la prodigieuse diversité des tâches quotidiennes.

V. 1. – FONDEMENTS NEUROBIOLOGIQUES DE L'EXPÉRIENCE DU CORPS PROPRE

« Dans une large mesure, nous choisissons ce dont nous allons faire l'expérience ; puis nous choisissons les détails de ce à quoi nous allons faire attention ; puis nous choisissons la façon dont nous allons réagir en nous fondant sur nos expectatives, nos projets et nos sentiments ; enfin, nous choisissons ce que nous allons faire comme résultat. D'un moment à l'autre, nous choisissons

et façonnons la façon dont nos esprits sans cesse changeants vont travailler ; nous choisissons qui nous allons être le moment suivant en un sens tout à fait réel ; et ces choix, nous les laissons imprimés en relief sous forme physique dans notre moi matériel. »

L'embarrassant, dans cette description, c'est que dès le moment où l'on dit : « nous choisissons », on a inévitablement présumé un agent déjà maître de soi, un sujet complètement constitué – et qui n'a donc plus rien à faire pour accéder à son propre être – ce qui retire tout intérêt à la suite de son opération. À tout prendre, le processus constituant récemment métaphorisé, plutôt que décrit, dans les termes de ce naïf décisionnisme biologique du neurophysiologiste Michael M. Merzenich¹³, on sera tenté de dire qu'il a été décrit par Husserl sans métaphore dans une conceptualité spécialement forgée pour ne pas recouvrir les événements générateurs par des formations dérivées : comme autoconstitution kinesthésique du corps propre au sein de la constitution transcendantale d'un monde objectif. Les principales données expérimentales à l'appui de cette proposition de réinterprétation sont :

- 1) la plasticité et la modulation par l'usage des cartes somatotopiques corticales des aires sensori-motrices primaires ;
- 2) la plasticité des champs récepteurs cellulaires bimodaux visuo-tactiles codant les espaces personnel, péripersonnel et extra-personnel dans les aires de convergence ;
- 3) la dérépression de la neurogenèse corticale et l'amplification du corps par la bio-technologie prothétique et l'informatique.

Dans les vingt dernières années, la cartographie des aires de représentation du corps dans le cerveau semble avoir changé d'orientation. Jusque-là, on avait surtout cherché à mettre en place une ou plusieurs cartes topographiques des différentes parties du corps, en présumant un cerveau dont la principale fonction serait de les représenter centralement. Au demeurant, on ne voyait pas mystère à ce concept de « représentation », parce qu'on croyait pouvoir le contenir dans les limites d'une projection épistémologiquement neutre. Les surfaces cutanées (ou l'appareil musculaire des organes moteurs) se projetaient sur les territoires cytoarchitectoniques du cortex cérébral avec une distorsion normalement imputable à la différence de densité en récepteurs des différentes régions périphériques. Dès le travail pionnier de Wilder Penfield¹⁴, par exemple, on ne peut manquer d'être saisi d'un contraste. D'un côté, le compte rendu des explorations électriques préopératoires du cortex cérébral fait état de « la grande variabilité topographique d'un patient à l'autre » des points excitables pour une même catégorie de mouvements ou de sensations.

13. MERZENICH et DECHARMS, 1995, p. 76.

14. PENFIELD et BOLDREY, 1937, p. 429-433.

De l'autre, ce constat de variabilité n'entame pas l'assurance du consensus localisationniste qui préside à la construction d'une carte de représentation standardisée des parties du corps sur le cortex rolandique, comme à celle de l'homoncule sensori-moteur illustrant les distorsions de leurs représentations. Cet homoncule, figure de la constance d'une localisation fonctionnelle normale, résulte en fait d'une normalisation qui a *éliminé* des données toute variabilité, imputant celle-ci tantôt à la diffusion du courant électrique sur le cortex, artefact expérimental, tantôt à la désorganisation pathologique causée par le foyer épileptique ou la tumeur. Il faut noter, cependant, la conscience chez Penfield (non chez tous ses émules) du caractère purement statistique de cette constance et l'admission d'une triple variabilité : par rapport aux frontières cytoarchitectoniques, où il ne prétend pas « confiner la représentation fonctionnelle¹⁵ » ; topographique, les territoires de représentation moteur et sensoriel se chevauchant plus ou moins selon les parties du corps représentées ; individuelle et temporelle, enfin : les aires activées lors d'une première opération pouvant rester muettes à une deuxième, et réciproquement. Néanmoins, ni le témoignage (unique) d'un mouvement de « tourner les yeux vers une lumière », ni ceux (fréquents) d'un « désir de bouger la main », bien que retenant son intérêt, ne lui suggèrent l'éventualité d'une influence modulatrice de l'intentionnalité perceptive ou motrice sur la représentation somatique. Comme si le dogme de l'élémentarisme jacksonien avait subrepticement filtré ses données de façon à n'en retenir que des sensations, ou mouvements, dépourvus de complexité et d'intentionnalité.

Désormais, les chercheurs s'intéressent à *la plasticité* de ces représentations cérébrales, sous toutes ses formes : leur variabilité individuelle, leur modification au cours de la vie, leur remodelage par l'expérience, l'usage, l'attention visuelle et l'intention motrice, leur amplification par l'apprentissage d'une tâche, impliquant éventuellement le maniement d'un outil, leur restructuration consécutive à l'amputation d'un membre ou une lésion cérébrale, la rééducation fonctionnelle, l'usage de prothèse, dernièrement, la connexion directe de l'aire motrice à un ordinateur, etc. Du même coup, le voile commence à se lever sur la signification fonctionnelle de l'existence de ces représentations dans le cerveau, comme modes d'inscription transitoire des schèmes d'action et fixation durable des aptitudes acquises, mais aussi comme support de l'expérience subjective du corps propre avec ses vicissitudes et ses anomalies. Toutes ces preuves d'une mutabilité anatomique et fonctionnelle essentielle et non contingente tendent logiquement vers une conclusion que la communauté des chercheurs n'a apparemment pas encore tirée : la relation entre le corps et le cerveau n'est pas concevable en termes de représentation, bien que ce soient ceux dans lesquels on la conceptualise couramment. Il se trouve, en effet, que

15. PENFIELD et BOLDREY, 1937, p. 390.

la terminologie actuelle des neurosciences – représentation, modèle, schéma, image, code, etc. – est dérivée d'une théorie de la représentation empruntée à l'idéologie cognitiviste dominante. Cette terminologie apparaît clairement inadaptée aux découvertes récentes, qui témoignent avec insistance en faveur d'une conception dynamique et motrice. Implicitement normé par le modèle géométrique de la projection point par point, image sur image, l'usage de ces termes fait peser sur l'interprétation des données un primat persistant de la structure anatomique du corps dans sa description conventionnelle sur le métabolisme fonctionnel du cerveau. Ce qui crée un handicap pour la compréhension de la relation effective corps-cerveau, dont on devine en l'absence de conceptualité adéquate pour la décrire, faute de théorie neurobiologique, non purement transcendantale, de la constitution, qu'elle est faite d'interaction dynamique entre deux pôles – eux-mêmes liés à un troisième : le monde – qui s'engendrent et se soutiennent constamment l'un l'autre dans cette relation même.

V. 2. – LE CORPS SENTI

En un premier temps, la plasticité de l'organisation des représentations du cortex somesthésique n'a malheureusement pu être mise en évidence qu'à l'aide de manipulations expérimentales invasives pratiquées sur le singe anesthésié, qui ne donnaient qu'une indication indirecte, bien qu'importante, sur le rôle que peut jouer l'expérience comme inducteur de plasticité dans les conditions normales. Ainsi, la réinnervation de la paume de la main et des doigts par régénération suite à l'écrasement du nerf médian se fait par étapes nettement différenciées. Avant la récupération complète, on a pu établir une substitution temporaire des sources d'entrées sensorielles des territoires de représentation corticale du pouce, de l'index et du majeur, en vertu de laquelle les régions normalement dédiées à la face ventrale glabre de ces doigts sont, une fois déafférentées par la lésion, exceptionnellement réaffectées à leur face dorsale velue. Ultérieurement, lorsque la régénération nerveuse est effective, et que la sensibilité cutanée est revenue, le cortex retrouve sa topographie fonctionnelle antérieure et ses connexions normales avec la peau de la main. Cette capacité de réemploi spontané des régions corticales déafférentées au traitement des signaux en provenance des surfaces sensorielles voisines de la zone blessée a été considérée comme une propriété générale du cerveau, en dépit d'une moins bonne restauration de la topographie corticale antérieure à la lésion si le nerf a été sectionné plutôt qu'écrasé¹⁶.

Une étude ultérieure des effets de la section du nerf médian a permis de tirer de cette exception apparente un renfort pour l'hypothèse de l'aptitude du

16. WALL, FELLEMAN et KAAS, 1983.

cerveau à se réorganiser face aux atteintes à l'intégrité de l'organisme. On observe que la régénération nerveuse périphérique correspond à une réorganisation du cortex de la main qui comporte certaines anomalies persistantes. À côté d'un rétablissement des relations topographiques normales des territoires cibles du nerf médian régénéré (pouce, index, majeur se suivant sur l'axe latéro-médial), on trouve une localisation anormale ou multiple des champs récepteurs cutanés des neurones ainsi que des discontinuités anormales des représentations des doigts ou de la paume de la main. Indice de ce que cette réorganisation n'implique pas nécessairement la restauration d'une organisation topographique antérieure, et que le retour à celle-ci n'est peut-être pas le seul mode d'organisation possible. Ce qui amenait à reconsidérer les anomalies apparentes par rapport à cette organisation antérieure autrement que comme désorganisation, passage à une organisation diffuse, ou aléatoire. Un réajustement original aux effets combinés de la lésion et de la régénération aboutissait à un « montage » tout aussi apte à sauvegarder la capacité de localisation des stimulations tactiles sur la peau, moyennant le déplacement des représentations corticales de celle-ci, puisque l'anomalie de la nouvelle topographie fonctionnelle n'interfère pas avec la capacité de réponse des neurones du cortex de la main¹⁷.

Mais la démonstration, éclatante, du fait que le cerveau possède une capacité intrinsèque de se réorganiser qui n'a rien à voir avec le reflet passif de la régénération nerveuse périphérique, a été apportée par les expériences d'amputation des doigts des singes. Les représentations des doigts dans la carte corticale de la main de l'aire pariétale postcentrale (SI, ou 3b) sont séparées par des frontières, qui semblent reproduire somatotopiquement la discontinuité anatomique entre ces doigts. De même, les champs récepteurs cutanés des neurones du territoire cortical d'un doigt s'étendent rarement à la peau des autres doigts. Si l'anatomie déterminait ces frontières, comme on est tenté de le penser, après l'amputation d'un doigt, les représentations corticales des doigts restants ne devraient pas pouvoir les franchir pour occuper le territoire déafférenté, ce qui bloquerait toute réorganisation corticale. Or, quelques mois seulement après l'opération, le territoire cortical de représentation d'un doigt amputé (voire même de deux doigts) est envahi par les entrées sensorielles des deux doigts voisins avec reconstitution d'une frontière commune entre les représentations de ces doigts anatomiquement non adjacents. Cette expansion des territoires corticaux, combinée avec un rétrécissement significatif des champs récepteurs cutanés, donne une représentation plus détaillée des doigts et, sans doute, fait bénéficier l'animal d'une acuité tactile accrue. Preuve que ces frontières ne sont prédéterminées ni par l'anatomie des organes périphériques, ni par la cytoarchitecture du cortex, mais qu'elles sont tracées et

17. WALL, KAAS, SUR, NELSON, FELLEMAN et MERZENICH, 1986.

entretenu par le dynamisme fonctionnel du cerveau, qui réemploie optimalement les mêmes neurones pour localiser les stimulations tactiles de régions du corps tout à fait différentes¹⁸.

Il restait à démontrer que ce dynamisme fonctionnel des « cartes somatosensorielles » n'était pas seulement induit par des lésions, circonstances heureusement exceptionnelles dans la vie d'un individu, mais qu'il l'était normalement par son expérience comportementale tout au long de sa vie. Or, cette expérience diffère d'un individu à l'autre, variabilité que les premiers cartographes du cerveau avaient délibérément minimisée, pour pouvoir construire l'*homoncule* commun à une espèce en combinant les données de plusieurs individus. La seule variabilité classiquement admise était limitée à une période précoce du développement ontogénétique (David H. Hubel et Torsten N. Wiesel avaient reconnu la plasticité des colonnes de dominance oculaire dans le cortex visuel de l'animal jeune¹⁹). Globalement, la comparaison des cartes de la main dans l'aire 3b chez divers individus adultes, sains et intacts, fait apparaître une représentation de la main relativement constante. Elle l'est dans son orientation par rapport au cerveau, étant localisée entre une représentation plus latérale de la face et une représentation plus médiale de l'avant-bras, le bout des doigts étant toujours adjacent à la marge rostrale, la paume à la marge caudale. Elle l'est aussi dans les grandes lignes de sa topographie interne : les doigts se suivent dans l'ordre anatomique, du pouce au petit doigt, sur l'axe latéro-médial. Mais sous cette constance globale, toutes les caractéristiques plus particulières, depuis la forme et la taille du territoire de la main entière, et de chacun des doigts, jusqu'à la résolution des surfaces corticales de représentation (rapport à la surface cutanée représentée), sont nettement individualisées. La surface corticale représentative de la main n'a jamais exactement la même forme ni la même étendue. Non plus que les territoires représentatifs de chacun des doigts, de la paume ou du dos de la main. La représentation d'un doigt, continue chez un individu, est discontinue chez un autre. Latéralement, la représentation d'un doigt peut être située contre la frontière de la représentation de la main et de celle du visage, ou séparée de cette frontière par la représentation d'autres doigts. Caudalement, la représentation d'un même doigt peut être contiguë à des parties différentes de la paume. La représentation de la surface dorsale des doigts est tantôt repoussée sur les bords du territoire de la main où elle est continue, tantôt elle est discontinue et s'intercale sous forme d'îlots entre les représentations de la face interne des doigts...

Le constat de ces variations individuelles a fait abandonner les présupposés initiaux concernant l'uniformité des cartes somatotopiques pour tous les individus d'une même espèce (*homoncule* ou *simioncule*), leur prédétermination

18. MERZENICH, NELSON, STRYKER, CYNADER, SCHOPPMANN et ZOOK, 1984.

19. HUBEL, WIESEL et LE VAY, 1977.

génétique au-delà d'une grossière organisation topographique, ou encore, leur fixation à une phase précoce du développement ontogénétique. Pour interpréter cette variabilité, on invoque la singularité de *l'usage* que chaque individu fait de ses mains. Cet usage façonne les cartes corticales de la main en leur conférant leurs caractéristiques de détail. Enfin, comme il n'y a pas de raison que cette variabilité induite par l'usage s'arrête aux cartes des mains, il est probable que l'usage contribue également à la formation et la modulation de toutes les aires de « représentation corticale », qu'elles soient somatosensorielles, ou extéroceptives. Les chercheurs en infèrent que les cartes corticales de la main ne sont pas des « cartes neuroanatomiques » génétiquement prédéterminées, mais qu'étant façonnées et demeurant en permanence modifiables par l'expérience, elles sont plutôt le reflet de « l'histoire individuelle de l'usage de la main » tout au long de la vie de chaque individu²⁰.

Encore fallait-il contrôler les effets directs de l'expérience sur la topographie des cartes corticales. C'est ce qu'on a fait en commençant par cette forme d'expérience bien décrite par les psychologues qu'est l'apprentissage d'une tâche artificiellement simplifiée (ou compliquée). L'entraînement d'un singe à la détection de différences de fréquence des vibrations appliquées à une petite partie d'un doigt pendant plusieurs semaines développe l'acuité perceptive de cette région de sa peau. Cette amélioration de performance a été mise en rapport avec des changements de la carte corticale de la main stimulée par rapport à celle de la main non stimulée. La première devient plus complexe, des discontinuités apparaissent dans la représentation des doigts, et la représentation de la zone stimulée est plus étendue que celle de la région homologue. Si les champs récepteurs cutanés s'agrandissent au lieu de se rétrécir, le gain en acuité peut s'expliquer par une densité et un chevauchement accrus de ces champs récepteurs, qui semblent s'être déplacés vers la région stimulée. Il est intéressant de noter que cette réorganisation topographique corrélative du progrès obtenu par un apprentissage est en outre modulée par l'attention : elle ne se produit pas si la même stimulation est appliquée à un animal qui la subit passivement. Preuve de l'influence du comportement, non du stimulus, sur cette manifestation de plasticité corticale²¹.

L'expérimentation avec une tâche plus écologique a permis de révéler une étroite correspondance entre le changement des cartes corticales et le mode opératoire privilégié par un animal entraîné. Après quelques semaines d'entraînement à la récupération de boulettes de nourriture dans des trous de taille variée, des singes ont acquis une technique efficace reposant sur deux doigts seulement. Dans le relevé de la carte de la main utilisée, les représentations de la peau de l'extrémité de ces doigts sont plus étendues et présentent un

20. MERZENICH, NELSON, KAAS, STRYKER, JENKINS, ZOOK, CYNADER et SCHOPPMANN, 1987.

21. RECANZONE, MERZENICH, JENKINS, GRAJSKI et DINSE, 1992.

taux de résolution plus important que celles des autres doigts. Les champs récepteurs cutanés des neurones de leurs territoires de représentation ayant diminué parallèlement, la représentation corticale de la peau de ces doigts bénéficie d'une résolution spatiale accrue. Là aussi, cette plasticité dépend de l'attention, puisqu'on ne l'observe que lorsque la petite taille du trou où on l'a placé rend difficile la récupération de l'objet²².

L'influence modulatrice de l'usage de la main sur sa représentation somatosensorielle chez l'homme a été confirmée en particulier chez des patients syndactyles ayant récupéré l'indépendance de leurs doigts grâce à une séparation chirurgicale. L'examen magnéto-encéphalographique préchirurgical révèle une organisation non somatotopique de la carte de la main où les dipôles des doigts se chevauchent et le petit doigt s'intercale entre le pouce et l'index. Un examen de contrôle effectué une semaine après l'intervention fait apparaître une expansion de la carte de la main et une organisation de celle-ci nettement plus somatotopique, avec une localisation distincte des dipôles des doigts. On retiendra que cette transformation est imputée par les auteurs, non à la séparation purement physique des doigts réalisée par l'acte chirurgical, mais à l'acquisition active par le patient d'une indépendance fonctionnelle des doigts qu'il n'avait jamais connue auparavant²³.

Les aveugles lecteurs en écriture Braille ont également fait l'objet de travaux en plasticité cérébrale adulte. D'abord avec la méthode des potentiels évoqués par stimulation électrique de l'index de lecture, potentiels enregistrés au moyen d'électrodes placées sur le scalp. L'extension plus importante des aires d'enregistrement de ces potentiels sur le scalp, quand ils sont obtenus par la stimulation des doigts de lecture plutôt que par la stimulation des autres doigts, permet d'inférer une plasticité représentationnelle induite par la pratique du Braille²⁴. La magnéto-encéphalographie a précisé l'incidence de cette pratique sur l'organisation topographique de la représentation corticale. On a trouvé que des aveugles instructeurs en Braille qui utilisent intensivement l'index, le majeur et l'annulaire, non seulement présentent une expansion de la représentation de la main avec un écart plus important entre les doigts de lecture, mais que l'ordre de succession normal entre le pouce, l'index et le petit doigt était souvent interverti. Cette anomalie est interprétée comme un remodelage adaptatif des représentations des doigts de lecture pour un traitement simultané des stimulations tactiles, normalement successives²⁵.

D'une possibilité d'amplification volontaire de l'expérience corporelle par acquisition d'aptitudes manuelles exceptionnelles, les artistes instrumentistes

22. XERRI, MERZENICH, JENKINS et SANTUCCI, 1999.

23. MOGILNER, GROSSMAN, RIBARY, JOLIOT, VOLKSMANN, RAPAPORT, BEASLEY et LLINAS, 1993.

24. PASCUAL-LEONE et TORRES, 1993.

25. STERR, MÜLLER, ELBERT, ROCKSTROH, PANTEV et TAUB, 1998.

apportent des preuves moins indirectes que ces substitutions de modalités sensorielles compensant un handicap. De la main gauche, les violonistes et les violoncellistes pincent les cordes sur les touches de l'instrument avec les quatre doigts, dont ils varient indépendamment le doigté, la pression exercée, la nuance expressive, etc., tandis que le pouce leur sert à tenir le bois de l'instrument en glissant dessus pour aller chercher les notes sur les touches. Le mouvement de l'archet, tenu de la main droite, est uniquement imprimé par le bras, bien que le son doive sa richesse aux variations de la pression que les doigts exercent collectivement en le tenant²⁶. S'intéressant aux modifications de la représentation corticale corrélatives de la dextérité et de la finesse de toucher acquises par les quatre doigts de la main gauche, les chercheurs ont procédé à l'enregistrement magnéto-encéphalographique des potentiels cérébraux évoqués par de légères pressions exercées au moyen d'un stimulateur pneumatique sur l'index et le petit doigt de chaque main. Par rapport à la moyenne, chez les non-musiciens, des localisations et intensités des dipôles magnétiques représentatifs des doigts stimulés de la main gauche, ils ont noté, chez les musiciens, un net déplacement médial (en direction de la représentation de la paume) doublé d'un accroissement d'intensité, changements plus importants pour le petit doigt. L'entraînement intensif (et précoce) à la pratique d'un instrument à cordes aurait donc induit une expansion sélective du territoire de représentation des doigts de la main gauche dans le cortex somatosensoriel contralatéral. Grâce à cette réorganisation, les ressources de traitement des informations sensorielles sont efficacement ajustées aux exigences accrues d'une telle pratique instrumentale²⁷.

V. 3. – LE CORPS AGISSANT

On trouve des modifications corrélatives des « représentations du corps » dans les aires sensorielles et motrices primaires, ainsi que dans les multiples aires de relais des voies sensori-motrices corticales et sous-corticales qui sont activées hiérarchiquement, ou en parallèle, par une tâche comportementale. De telle façon qu'il faut renoncer à l'idée d'un corps anatomique fixé en sa vérité et d'une représentation interne que le cerveau s'en ferait. Quoi qu'il en soit de ce corps anatomique, le corps effectivement réel est corps agissant ou corps sensoriellement éprouvé, alternative trompeuse à son tour, puisque ce corps agissant ne cesse de rétroagir sur ce corps sensoriellement éprouvé, qui devance sa propre modification. De sorte que ce que nous appelons « le corps » émerge de sa reconfiguration interne permanente à tous les niveaux

26. Indications de Serà Tokay, chef d'orchestre et pianiste.

27. ELBERT, PANTEV, WIENBRUCH, ROCKSTROH et TAUB, 1995.

d'élaboration, non seulement de sa perception selon les modalités visuelle, tactile et proprioceptive, mais encore de la commande musculaire, et avant celle-ci des schèmes moteurs, et encore plus en amont, de l'intention. Cette reconfiguration est très finement modulée dans le détail par les étapes de l'acquisition d'une maîtrise des tâches, par le choix des stratégies, par le niveau de l'attention, par la formation, le maintien en vigueur, la réactivation de l'intention, par la fixation en mémoire du répertoire des schèmes moteurs..., en un mot, par tous les microaspects de l'action.

C'est ainsi que (pour revenir aux réorganisations consécutives à une amputation de la main) la stimulation magnétique transcrânienne (TMS) évoque, à partir d'un plus grand nombre de positions excitables sur le scalp contralatéral au moignon que sur le scalp ipsilatéral, et pour des intensités de stimulation plus faibles, des potentiels moteurs plus importants dans les muscles proches du moignon que dans ceux du membre intact. On en infère que le dramatique changement intervenu dans l'usage du membre a induit un phénomène de plasticité fonctionnelle des cartes somatomotrices chez l'adulte analogue à celui qu'on a mis en évidence pour le cortex somatosensoriel. Une expansion des territoires de représentation des sorties vers ces muscles dans le cortex contralatéral répond à l'expansion des territoires de représentation somatosensorielle. De nouveaux muscles sont devenus la cible du cortex moteur, comme de nouvelles surfaces cutanées ont redirigé leurs signaux vers le cortex sensoriel déafférenté²⁸.

Cette capacité de réorganisation est sollicitée plus normalement dans l'apprentissage. Pour une tâche telle que presser des boutons en se servant dans un certain ordre des doigts de la main droite (à l'exception du pouce), une diminution du temps de réaction correspond à un accroissement des points du scalp où la TMS évoque des potentiels moteurs dans les muscles des doigts impliqués, non dans l'abducteur du pouce. Cette expérience permet d'inférer, non seulement une expansion des cartes somatomotrices corticales due à l'apprentissage, mais encore la fonction de cette plasticité, comme engramme transitoire des étapes de cet apprentissage. Car, lorsque les sujets ont acquis « une connaissance explicite » de la tâche et sont capables de produire la séquence de mouvements complète en réponse au signal, on observe que les cartes motrices corticales retrouvent leur configuration topographique de base²⁹.

Non sans une certaine inconsistance, l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) a montré ultérieurement une réorganisation à long terme du cortex moteur chez l'adulte en rapport à la rétention, autant qu'à l'apprentissage, d'une séquence rapide de mouvements des doigts. Passé une période de familiarisation, où l'on note une rétraction transitoire de l'aire corticale activée,

28. COHEN, BANDINELLI, FINDLEY et HALLETT, 1991.

29. PASCUAL-LEONE, GRAFMAN et HALLETT, 1994.

la séquence apprise active une surface plus étendue de l'aire motrice primaire qu'une séquence non apprise composée des mêmes mouvements élémentaires. Résultat qui suggère que le cortex moteur pourrait être un siège de la mémoire des aptitudes motrices³⁰.

L'enregistrement des neurones chez le singe éclaire ce passage de l'enchaînement temporel des mouvements dans la conduite à l'organisation spatiale du cortex moteur. Aux muscles qu'un mouvement appris contracte ensemble est assignée dans un même territoire cortical une représentation combinée et augmentée. Cette redistribution spatiale se réalise au détriment des mouvements non impliqués. Apprendre à récupérer un petit objet avec les doigts induit l'*expansion* des représentations corticales des mouvements des doigts et la *rétraction* de celles des mouvements du poignet et de l'avant-bras. Réciproquement, apprendre à tourner une clé, où le poignet travaille plus que les doigts, provoque la *rétraction* des représentations des doigts et l'*expansion* de celles de l'abducteur du poignet et du supinateur de l'avant-bras³¹.

Nous devons résister à cet objectivisme homonculaire qui tendrait à nous faire rentrer le corps dans le cerveau, sous prétexte de représentation interne de l'anatomie extérieurement visible. De même que disposer d'un corps c'est pouvoir « se mettre tout entier » tantôt dans ses mains comme l'artisan, tantôt dans ses pieds comme le danseur, etc., de même le corrélat neurobiologique de ces vécus kinesthésiques est-il un chassé-croisé incessant de foyers transitoires d'activation (ou d'inhibition) allant d'une aire corticale à une autre en passant par les noyaux sous-corticaux et les voies de conduction vers la périphérie. La plasticité des représentations fonctionnelles observée dans un territoire cortical ne se comprend que par rapport aux influences mutuellement modulatrices que, suivant des hiérarchies toujours relatives, ces différents centres nerveux exercent les uns sur les autres. Chez le singe, par exemple, on a vu que les cellules du cortex somatosensoriel déafférenté par sectionnement du nerf médian déplaçaient leurs champs récepteurs cutanés de la paume vers la surface dorsale de la main. Eh bien, cette réorganisation corticale semble dépendre, en amont, d'une réorganisation analogue des champs récepteurs des cellules de la carte somatotopique du noyau ventro-postérieur latéral du thalamus³².

Ce n'est pas pour avoir une fort inutile « image du corps » en son objectivité fixe que le vivant a développé cette capacité de configuration et reconfiguration continuelle de soi en fonction des vicissitudes de l'expérience. Mais, plus sûrement, pour tenir à jour la chronique des progrès et acquisitions d'aptitudes nouvelles en cours d'action. Tel paraît être, en tout cas, l'enseignement de l'imagerie par mesure du flux sanguin cérébral chez l'homme. Les sujets

30. KARNI, MEYER, JEZZARD, ADAMS, TURNER et UNGERLEIDER, 1995.

31. NUDO, MILLIKEN, JENKINS et MERZENICH, 1996.

32. GARRAGHTY et KAAS, 1991.

qu'on entraîne à la poursuite d'une cible tournante avec un stylet ont d'abord des mouvements saccadés, puis se montrent capables d'accompagner la cible d'un mouvement souple et continu leur permettant de maintenir plus durablement le contact avec celle-ci. Une série d'examen tomographiques (PET) effectués durant cette période d'acquisition démontre que les régions du cerveau activées par l'apprentissage sont un sous-ensemble des régions activées par l'exécution du mouvement³³. De là, en individualisant la méthode d'imagerie PET, on a pu montrer qu'il suffisait d'une heure de pratique d'une séquence complexe de mouvements de la main droite, pour obtenir des activations dans des régions non superposables d'un individu à l'autre, dont la variété est fonction des progrès individuellement accomplis dans la maîtrise des divers aspects de l'action : accélération de la cadence pour l'un, suppression des erreurs pour l'autre, découverte de la stratégie optimale pour un troisième, etc.³⁴.

La neurophysiologie pousse à ses limites paradoxales la différence entre la constance présumée du corps physique et la variabilité du corps propre perçu (à travers l'usage qu'on en fait). Nous nous servons d'un outil pour prolonger notre main : extension physique doublée d'une assimilation perceptive de l'outil au schéma corporel de la main. De cette phénoménologie d'une expérience familière (René Descartes, William James, Martin Heidegger) les corrélats neurobiologiques ont fait l'objet de récents travaux. Des singes immobilisés sur une chaise à enregistrement sont entraînés à se servir d'un râteau avec une main pour ramener vers eux des boulettes de nourriture placées hors de leur portée de manière à pouvoir les saisir de l'autre main. L'enregistrement par électrodes implantées d'un groupe de neurones bimodaux, visuo-tactiles, du cortex postcentral (sillon intra-pariétal) a permis d'y repérer une carte de l'espace visuel centrée sur le corps de l'animal. La mesure du champ récepteur (CR) visuel de ces neurones, dont le CR cutané est, par exemple, localisé sur les doigts et la paume de la main utilisée, a révélé un étonnant phénomène de plasticité liée à l'usage d'outil. Le CR visuel, superposé au CR cutané avant l'usage, au bout de 5 minutes d'actions répétées de récupération de nourriture à l'aide du râteau, s'allonge dans l'axe du râteau « comme si l'image de cet outil était incorporée à celle de la main », puis dans un laps de temps de 1 à 5 minutes de non-usage, se rétracte pour retrouver sa localisation initiale, même si le singe tient encore le râteau. Ce qui suggère aux auteurs d'associer cette expansion, non à l'extension physique de la configuration du corps de l'animal par l'outil qu'il tient, mais bien à « son intention immédiate de se servir de cet outil³⁵».

33. GRAFTON, MAZZIOTTA, PRESTY, FRISTON, FRACKOWIAK et PHELPS, 1992.

34. SCHLAUG, KNORR et SEITZ, 1994.

35. IRIKI, TANAKA et IWAMURA, 1996.

Une confirmation indirecte de l'expansion de la représentation cérébrale de l'espace du corps par l'usage d'outil dans le cas humain a été apportée récemment. Une patiente, cérébralisée de l'hémisphère droit suite à une attaque, manifeste une hémignégligence à gauche dans l'espace proche. Quand on la soumet à une épreuve d'hémignégligence à base de bissection de traits tracés sur une feuille à des angles variés, elle déplace subjectivement le centre des traits vers la droite, révélant qu'elle n'en perçoit pas la partie gauche. Ce déplacement est plus important dans l'espace proche (50 cm) où elle doit toucher les traits de son index, que dans l'espace lointain (1 m) où elle doit pointer sur eux un crayon lumineux. Mais si, lui présentant toujours la feuille dans l'espace lointain, on lui demande de toucher le centre des traits à l'aide d'une baguette, sa distorsion perceptive revient au niveau de celle de l'espace proche. Dans la mesure où l'on présume que l'usage de la baguette a étendu la représentation cérébrale du corps de façon à y inclure une région de l'espace inaccessible au doigt, on peut interpréter ce résultat en termes de représentations spatiales ou en termes d'actions. Dans la première hypothèse, l'usage d'outil a induit une assimilation de l'espace lointain à l'espace proche ; dans la seconde, chaque type d'action sélectionne l'espace approprié : on pointe ce qui est dans l'espace lointain, on touche, du doigt ou avec un outil prolongeant ce doigt, ce qui est dans l'espace proche³⁶.

Les progrès spectaculaires de la neurochirurgie prothétique nous autorisent une extrapolation. Une équipe de neurologues, neurochirurgiens et neuro-informaticiens d'Atlanta expérimente actuellement sur des patients, complètement paralysés et privés de l'usage de la parole, l'implantation dans l'aire motrice de la main d'*électrodes neurotrophiques*, invention de Philip R. Kennedy³⁷. Objectif : en un premier temps, restituer le minimum de fonction motrice nécessaire à la communication assistée par un ordinateur en connexion radio-électrique avec le cerveau ; ultérieurement, donner à ces emmurés vivants l'accès à Internet. L'apprentissage du contrôle différentiel de la fréquence et du profil de décharge des potentiels d'actions individuels d'une paire de neurones requiert une année d'efforts de volonté et d'attention guidés sur une boucle de rétroaction visuelle et auditive. Ce contrôle transforme en instructions de déplacement horizontal et vertical d'un curseur les potentiels d'actions que les électrodes implantées captent et transmettent à l'ordinateur. Chez un premier patient, les chercheurs ont pu observer la parfaite assimilation par le cortex moteur de la commande des mouvements du curseur sur le clavier virtuel affiché à l'écran du moniteur. Ce sujet n'a plus besoin de « penser à mouvoir sa main » pour déplacer le curseur, et que se produise l'activation de son cortex

36. BERTI et FRASSINETTI, 2000.

37. www.neuralsignals.com ; KENNEDY, BAKAY et SHARPE, 1992a ; KENNEDY, MIRRA et BAKAY, 1992b ; KENNEDY et BAKAY, 1997 ; KENNEDY et BAKAY, 1998.

moteur qui causera ce déplacement. Il lui suffit de « vouloir déplacer le curseur », pour qu'il se déplace effectivement vers la lettre ou le mot sélectionné. Il éprouve ce mouvement du curseur de la même façon que le sujet sain éprouve le mouvement de sa main : comme étant sous le contrôle de sa volonté. « Nous avons mis la souris dans sa tête », commente Roy Bakay. Par-delà une innovation technologique complétant la série : clavier, souris, etc., par l'interface directe cerveau-ordinateur, par-delà une preuve de la possibilité et de la valeur fonctionnelle d'une dérépression de la neurogenèse corticale chez l'adulte, ce phénomène, « le cortex du curseur », est une illustration des prodigieuses ressources de plasticité cérébrale susceptibles d'être induites par l'apprentissage. Suppléant la représentation fonctionnelle de la main, il implique une expansion de celle-ci par activation de l'axone, ou du neurone, nouvellement poussé dans la cavité de l'électrode. Cette assimilation de l'ordinateur au corps propre prolonge et amplifie, chez l'homme, celle de l'outil manuel, attestée par « le neurone du râteau » dès le singe.

Accumulant les preuves de relativité des cartes fonctionnelles aux potentialités illimitées de l'usage du corps plutôt qu'à la configuration actuelle de ses structures anatomiques, ces recherches se sont développées depuis la considération de l'aire somatosensorielle primaire, substrat présumé de l'expérience corporelle proprioceptive, jusqu'à l'examen des modifications corrélatives des cartes somatomotrices de l'aire motrice primaire, en passant par les modifications corrélatives de toutes les aires sensori-motrices de projection somatotopique intermédiaires. Du même coup, l'explication causale par mécanismes sous-jacents, qui croyait avoir touché avec les cartes corticales le sol ontologique de la représentation cognitive du corps, est obligée de revenir sur ses prétentions à l'*ultima reductio* et d'expérimenter des modèles spéculatifs de rechange, devant l'insuffisance du modèle de projection somatotopique du mécanisme représentationnel. D'incessantes réinterprétations sous la pression de données récalcitrantes ont fait perdre son apparence de clarté initiale à l'idée d'une relation causale univoque (un « mécanisme ») entre aire de projection sensorielle, territoire de représentation cérébrale et représentation cognitive. Aucun palliatif définitionnel ne remédiera à l'incompatibilité foncière entre les nouvelles et les anciennes intuitions directrices. Or, il semble à l'heure actuelle que ce qui flotte dans l'esprit des chercheurs soit l'idée – anti-représentationnelle – d'une circulation d'influences mutuellement formatrices et modulatrices à travers une ou plusieurs boucles cortico-sous-corticales, reliant entre elles plusieurs aires diversement mises à contribution par une même conduite de l'agent. N'est plus à l'ordre du jour la réduction de la phénoménologie de notre expérience vécue du corps propre (ou de la description clinique du schéma corporel) à une simple projection topographique de l'anatomie des organes périphériques sur l'homoncule central. Primat de l'usage structurant par rapport aux structures stabilisées ! La somatotopie, ancrée dans

une conception du rapport cerveau-corps comme représentation, est relayée par une somatodynamique tendue vers l'action.

Ce serait se contenter d'une naturalisation bien superficielle, que de s'arrêter au repérage des structures cérébrales susceptibles d'être les supports des régularités de l'expérience vécue. Si une phénoménologie descriptive peut, à la rigueur, s'en satisfaire, la théorie de *la constitution* du corps propre doit, et peut, aller plus loin. Car, entre constitution et neurophysiologie, il y a une affinité profonde : le rôle des vécus immanents de l'agir, dans la constitution de son sens d'être pour l'agent, renvoie au rôle, inducteur et modulateur, des usages du corps dans l'action par rapport au dynamisme des circuits neuronaux, dont il est prouvé que les cartes somatotopiques ne sont que des coupes instantanées. L'action façonne notre expérience changeante du corps du même mouvement qu'elle imprime dans les centres cérébraux une somatotopie, que remodèle constamment l'usage du corps qui sous-tend cette expérience. Pointer le doigt, tour à tour, sur l'aire SI, SII, SMA, PM ou MI, comme support du schéma corporel n'apporte donc rien ; sauf à ajouter que le dynamisme formateur des prétendues « cartes somatotopiques » ne fait pas que dessiner sur ces territoires cérébraux la représentation du corps, mais qu'il *constitue* celui-ci en son sens d'être pour l'agent. Ou, plutôt, pour ne pas tomber dans un objectivisme empirico-transcendantal, qu'il est une précondition somatologique de la possibilité transcendantale de son émergence à la conscience du sujet. Les opérations de la constitution transcendantale du corps propre referment le circuit ouvert par la réduction du corps objectivé aux kinesthèses des organes perceptifs et moteurs. La réduction, certes, est abstraction, la constitution fiction imaginative. Deux mouvements qui peuvent paraître se répondre dans un vide de tout corps, de tout monde. Cela serait sans doute le cas, si cette constitution n'était pas celle d'un *sens d'être* unique en son genre : le corps propre, incarné dans l'expérience de celui qui l'habite. Complète, seulement si sa prise en charge par le système kinesthésique l'inscrivait dans l'horizon d'un métabolisme biologique déterminé, l'opération de réduction et de constitution ne pouvait l'être au seul plan des actes mentaux d'un esprit désincarné.

Sans exclure « qu'une intelligibilité mathématique de l'espace du vivant³⁸ » ait été l'objectif ultime de Husserl mathématicien, réduire son entreprise à un essai inabouti d'axiomatisation (riemanienne, non euclidienne³⁹) de notre protospacialité originaire dépasse ma compétence. Faute de mieux, pour la constitution kinesthésique du corps propre, telle qu'elle ressort des inédits, la récente reconnaissance scientifique du rôle de l'usage comme inducteur de plasticité cérébrale m'apparaît être une illustration convaincante. À peine réveillée du sommeil dogmatique de son physicalisme computationnel (le cerveau :

38. Expression empruntée à Giuseppe Longo.

39. HUSSERL, 1973, p. 309-316 et 371-372.

machine de Turing autodescriptive représentant la structure anatomique du corps qui le contient⁴⁰), la recherche en neurosciences s'est lancée dans une course-poursuite entre les manifestations d'une « neuro-pragmatique cérébrale » qui décalque dans le cerveau la téléologie de l'action, et les hypothèses mécanistes qu'on doit imaginer pour réduire ces apparences de téléologie à la merveilleuse complexité des réseaux neuronaux. Le mystère persistant est : le vivant, même amputé ou cérébro-lésé, n'en fait pas moins le meilleur usage possible des ressources qui lui restent. Mystère redoublé par sa banalité. Car, toutes les fois que les ressources dont la Nature l'a doté ne lui suffisent pas pour atteindre des buts qu'il s'est arbitrairement fixés, sans façon, le vivant s'en procure de nouvelles. C'est alors qu'on pioche dans la panoplie des hypothèses subtiles à la limite des capacités de représentation formelle des modèles mathématiques disponibles : dé-répression de circuits préexistants normalement masqués par une inhibition collatérale, redistribution des poids synaptiques d'un réseau neuronal avec émergence de schème d'activation inédit, réorganisation des connexions cortico-sous-corticales divergentes-convergentes, etc. Qui, de la machine ou de l'action, l'emportera dans cette compétition ? On se contenterait de savoir qui a l'avantage dans la situation épistémologique présente : car le mécanisme, le causalisme, et le localisationnisme, chassés du paradis d'une phrénologie laplacienne, sont encore trop à la recherche d'eux-mêmes pour être au rendez-vous des nouvelles connaissances sur le vivant.

Jean-Luc PETIT*
(mars 2002).

40. JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 472.

* À Alain Berthoz, Jean Petitot et Giuseppe Longo, je tiens à exprimer mes remerciements et mon amitié en considération de ce que je leur dois : au premier, de m'avoir fait comprendre le cerveau comme dynamisme ; au deuxième, ce dynamisme comme morphogenèse ; au troisième, ce dynamisme morphogénétique, comme à dé-réprimer d'urgence, en changeant le modèle représentationnel des sciences cognitives.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- BERTI (Anna) et FRASSINETTI (Francesca), 2000, « When far becomes near. Remapping of space by tool use », *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. XII, 3, p. 415-420.
- COHEN (Leonardo G.), BANDINELLI (Stefania), FINDLEY (Thomas W.) et HALLETT (Mark), 1991, « Motor reorganization after upper limb amputation in man. A study with focal magnetic stimulation », *Brain*, vol. CXIV, p. 615-627.
- EDELMAN (Gerald), 1989, *The Remembered Present. A biological theory of consciousness*, New York, NY, Basic Books Inc. Publ.
- ELBERT (Thomas), PANTEV (Christo), WIENBRUCH (Christian), ROCKSTROH (Brigitte) et TAUB (Edward), 1995, « Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players », *Science*, vol. CCLXX, p. 305-307.
- GALLAGHER (Shaun), BUTTERWORTH (George E.), LEW (Adina) et COLE (Jonathan D.), 1998, « Hand-mouth coordination, congenital absence of limb, and evidence for innate body schemas », *Brain and Cognition*, 38, p. 53-65.
- GALLAGHER (Shaun) et MELTZOFF (Andrew), 1996, « The earliest sense of self and others. Merleau-Ponty and recent developmental studies », *Philosophical Psychology*, 9, p. 213-236.
- GARRAGHTY (Preston E.) et KAAS (Jon H.), 1991, « Functional reorganization in adult monkey thalamus after peripheral nerve injury », *NeuroReport*, vol. II, 12, p. 747-750.
- GOLDENBERG (Georg), 2002, « Goldstein and Gelb's case Schn. A classic case in neuropsychology ? », in C. COLE, C. W. WALLECH, Y. JOANETTE et A. ROCH-LECOURS, éd., *Classic cases in neuropsychology*, Hove, Psychology Press, vol. II, p. 281-299.
- GRAFTON (Scott T.), MAZZIOTTA (John C.), PRESTY (Sharon), FRISTON (Karl J.), FRACKOWIAK (Richard S. J.) et PHELPS (Michael E.), 1992, « Functional anatomy of human procedural learning determined with regional cerebral blood flow and PET », *The Journal of Neuroscience*, vol. XII, 7, p. 2542-2548.
- HEAD (Henry) et HOLMES (Gordon), 1911, « Sensory disturbances from cerebral lesions », *Brain*, vol. XXXIV, p. 102-254.
- HUBEL (David H.), WIESEL (Torsten N.) et LEVAY (S.), 1977, « Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex », *Proceedings of the Royal Society of London (Biology)*, vol. XXLXXVIII, p. 377-409.
- HUSSERL (Edmund), 1973, *Ding und Raum. Vorlesungen 1907*, in CLAESGES (Ulrich), éd., *Husserliana. Edmund Husserl, Gesammelte Werke*, vol. XVI, La Haye, Martinus Nijhoff.
- HUSSERL (E.), mss B III 9, 1931 ; D 10 I, III, 1932 ; D 12 III, 1931 ; D 13 I, 1921.
- IRIKI (Atsushi), TANAKA (Michio) et IWAMURA (Yoshiaki), 1996, « Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones », *NeuroReport*, vol. VII, 14, p. 2325-2330.

- JOHNSON-LAIRD (P. N.), 1983, *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KARNI (Avi), MEYER (Gundela), JEZZARD (Peter), ADAMS (Michelle M.), TURNER (Robert) et UNGERLEIDER (Leslie G.), 1995, « Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning », *Nature*, vol. CCCLXXVII, p. 155-158.
- KENNEDY (Philip R.) et BAKAY (Roy A. E.), 1997, « Activity of single action potentials in monkey motor cortex during long-term task learning », *Brain Research*, vol. DCCLX, p. 251-254.
- KENNEDY (P. R.) et BAKAY (R. A. E.), 1998, « Restoration of neural output from a paralyzed patient by a direct brain connection », *NeuroReport*, vol. IX, 8, p. 1707-1711.
- KENNEDY (Philip R.), BAKAY (Roy A. E.) et SHARPE (Steven M.), 1992a, « Behavioral correlates of action potentials recorded chronically inside the cone electrode », *NeuroReport*, vol. III, 7, p. 605-608.
- KENNEDY (Philip R.), MIRRA (Suzanne S.) et BAKAY (Roy A. E.), 1992b, « The cone electrode. Ultrastructural studies following long-term recording in rat and monkey cortex », *Neuroscience Letters*, vol. CXLII, p. 89-94.
- MERLEAU-PONTY (Maurice), 1945, *Phénoménologie de la perception*, Paris, Gallimard (NRF).
- MERZENICH (Michael M.) et DECHARMS (R. C.), 1995, « Neural representations, experience, and change », in LLINAS (Rodolfo R.) et CHURCHLAND (Patricia), éd., *Mind and Brain*, Cambridge, MA, Massachusetts Institute of Technology Press, p. 61-81.
- MERZENICH (Michael M.), NELSON (Randall J.), KAAS (Jon H.), STRYKER (Michael P.), JENKINS (William M.), ZOOK (John M.), CYNADER (Max S.) et SCHOPPMANN (Axel), 1987, « Variability in hand surface representations in areas 3b and 1 in adult owl and squirrel monkeys », *The Journal of Comparative Neurology*, vol. CCLVIII, p. 281-296.
- MERZENICH (Michael M.), NELSON (Randall J.), STRYKER (Michael P.), CYNADER (Max S.), SCHOPPMANN (Axel) et ZOOK (John M.), 1984, « Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys », *The Journal of Comparative Neurology*, vol. CCXXIV, p. 591-605.
- MOGILNER (Alon), GROSSMAN (John A. I.), RIBARY (Urs), JOLIOT (Marc), VOLKSMANN (Jens), RAPAPORT (David), BEASLEY (Robert W.) et LLINAS (Rodolfo R.), 1993, « Somatosensory cortical plasticity in adult humans revealed by magnetoencephalography », *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, vol. XC, p. 3593-3597.
- NUDO (Randoff J.), MILLIKEN (G. W.), JENKINS (William M.) et MERZENICH (Michael M.), 1996, « Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys », *The Journal of Neuroscience*, vol. XVI, 2, p. 785-807.
- PAILLARD (Jacques), 1999, « Body schema and body image. A double dissociation in deafferented patients », in GANTCHEV (Gantcho N.), MORI (Shigemi) et MASSION (Jean), éd., *Motor control, today and tomorrow*, Sofia, Academic Publishing House « Prof. M. Drinov », p. 197-214.

- PASCUAL-LEONE (Alvaro) et TORRES (Fernando), 1993, « Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers », *Brain*, vol. CXVI, p. 39-52.
- PASCUAL-LEONE (Alvaro), GRAFMAN (Jordan) et HALLETT (Mark), 1994, « Modulation of cortical motor output maps during development of implicit and explicit knowledge », *Science*, vol. CCLXIII, p. 1287-1289.
- PENFIELD (Wilder) et BOLDREY (Edwin), 1937, « Somatic, motor, and sensory representation in the cerebral cortex of man, as studied by electrical stimulation », *Brain*, vol. LX, p. 389-443.
- PETITOT (Jean), VARELA (Francisco), PACHOUD (Bernard) et ROY (Jean-Michel), éd., 1999, *Naturalizing phenomenology. Issues in contemporary phenomenology and cognitive science*, Stanford, CA, Stanford University Press.
- RECANZONE (Gregg H.), MERZENICH (Michael M.), JENKINS (William M.), GRAJSKI (Kamil A.) et DINSE (Hubert R.), 1992, « Topographic reorganization of the hand representation in cortical area 3b of owl monkeys trained in a frequency-discrimination task », *Journal of Neurophysiology*, vol. LXVII, 5, p. 1031-1055.
- SCHLAUG (Gottfried), KNORR (Uwe) et SEITZ (Rüdiger J.), 1994, « Inter-subject variability of cerebral activations in acquiring a motor skill. A study with positron emission tomography », *Experimental Brain Research*, vol. XCVIII, p. 523-534.
- STERR (Annette), MÜLLER (Matthias M.), ELBERT (Thomas), ROCKSTROH (Brigitte), PANTEV (Christo) et TAUB (E.), 1998, « Perceptual correlates of changes in cortical representation of fingers in blind multifinger Braille readers », *The Journal of Neuroscience*, vol. XVIII, 11, p. 4417-4423.
- WALL (John T.), FELLEMAN (Daniel J.) et KAAS (Jon H.), 1983, « Recovery of normal topography in the somatosensory cortex of monkeys after nerve crush and regeneration », *Science*, vol. CCXXI, p. 771-773.
- WALL (John T.), KAAS (Jon H.), SUR (Mriganka), NELSON (Randall J.), FELLEMAN (Daniel J.) et MERZENICH (Michael M.), 1986, « Functional reorganization in somatosensory cortical areas 3b and 1 of adult monkeys after median nerve repair. Possible relationships to sensory recovery in humans », *The Journal of Neuroscience*, vol. VI, 1, p. 218-233.
- XERRI (Christian), MERZENICH (Michael M.), JENKINS (William M.) et SANTUCCI (Stephen), 1999, « Representational plasticity in cortical area 3b paralleling tactual-motor skill acquisition in adult monkeys », *Cerebral Cortex*, vol. IX, 3, p. 264-276.

THE INTUITIONS OF HIGHER DIMENSIONAL ALGEBRA FOR THE STUDY OF STRUCTURED SPACE*

Ronald BROWN and Timothy PORTER

RÉSUMÉ : Les algèbres de dimensions supérieures libèrent les mathématiques de la restriction d'une notation purement linéaire. Elles aident ainsi à la modélisation de la géométrie et procurent une meilleure compréhension et plus de possibilités pour les calculs. Elles nous donnent de nouveaux outils pour l'étude de problèmes non-commutatifs, de dimension supérieure qui assurent le passage du local au global, en utilisant la notion d'« inverse algébrique de subdivision ». Nous allons exposer comment ces idées sont venues aux auteurs en prolongeant initialement la notion classique de groupe abstrait à celle de groupoïde abstrait, dont la composition n'est que partiellement définie, et qui ajoute une composante spatiale à la théorie habituelle des groupes. La théorie des nœuds nous fournit un exemple en indiquant comment une telle algèbre peut être utilisée pour décrire la structure d'un espace. Le prolongement à la dimension 2 utilise des compositions de carrés dans deux directions et la richesse de l'algèbre qui en résulte est montrée par certains calculs de dimension 2. La difficulté de la transition de la dimension 1 à la dimension 2 est également illustrée par la comparaison de la notion de carré commutatif à celle de cube commutatif – le traitement de cette dernière nécessitant de nouvelles notions. L'importance de la théorie des catégories est expliquée, de même que les possibilités de l'application d'algèbres de dimensions supérieures.

MOTS-CLÉS : algèbres de dimensions supérieures, théorie des nœuds, groupes, groupoïdes, théorie des catégories, connections, méthodes cubiques.

ABSTRACT : Higher dimensional algebra frees mathematics from the restriction to a purely linear notation, in order to improve the modelling of geometry and so obtain more understanding and more modes of computation. It gives new tools for non-commutative, higher dimensional, local to global problems, through the notion of « algebraic inverse to subdivision ». We explain the way these ideas arose for the writers, in extending first the classical notion of abstract group to abstract groupoid, in which composition is only partially defined, as in composing journeys, and which brings a spatial component to the usual group theory. An example from knot theory is used to explain how such algebra can be used to describe some structure of a space. The extension to dimension 2 uses compositions of squares in two directions, and the richness of the resulting algebra is shown by some 2-dimensional calculations. The difficulty of the jump from dimension 1 to dimension 2 is also illustrated by the comparison of the commutative square with the commutative cube – discussion of the latter requires new ideas. The importance of category theory is explained, and a range of current and potential applications of higher dimensional algebra indicated.

KEYWORDS : higher dimensional algebra, knot theory, groups, groupoids, category theory, connections, cubical methods.

* This is a development of a talk by Ronald Brown at the École normale supérieure on 30 May 2001, in the seminar series « Géométrie et Cognition » of Giuseppe Longo, Jean Petitot, Bernard Teissier.

ZUSAMMENFASSUNG : Die mehrdimensionale Algebra befreit die Mathematik von einer rein linearen Notation. Sie ermöglicht eine Modellierung der Geometrie, erleichtert das Verständnis von Rechnungen und stellt dafür eine größere Zahl von Hilfsmitteln zur Verfügung. Sie liefert uns auch neue Werkzeuge für die Untersuchung « lokal-globaler » nicht-kommutativer Probleme, indem der Begriff einer algebraischen Umkehrung der Subdivision eingeführt wird. Wir werden zeigen, wie diese Vorstellungen entstanden sind. Der klassische, abstrakte Gruppenbegriff wurde zu einem abstrakten « Gruppoid » weiterentwickelt, dessen Zusammensetzung nur teilweise definiert ist und bei dem der herkömmlichen Gruppentheorie eine räumliche Komponente hinzugefügt wird. Die Knotentheorie liefert dafür ein Beispiel, denn sie zeigt den Nutzen einer solchen Algebra für die Beschreibung einer Raumstruktur. Bei der Ausweitung auf die zweite Dimension werden in zwei Richtungen Zusammensetzungen von Quadraten benutzt, und der Reichtum der daraus hervorgehenden Algebra wird durch einige Rechnungen in der zweiten Dimension erläutert. Die Schwierigkeit des Übergangs von der ersten zur zweiten Dimension wird durch den Vergleich des Begriffs « kommutatives Quadrat » mit dem Begriff « kommutativer Würfel » erläutert. Um diesen zu behandeln, sind neue Ideen erforderlich. Ferner wird die Bedeutung der Theorie der Kategorien erklärt, und es wird eine Reihe von bereits existierenden und potentiellen Anwendungen der mehrdimensionalen Algebra angegeben.

STICHWÖRTER : mehrdimensionale Algebra, Knotentheorie, Gruppe, Gruppoide, Theorie der Kategorien, Verknüpfungen, kubische Methoden.

RIASSUNTO : L'algebra di dimensioni superiori libera la matematica dai limiti delle notazioni puramente lineari, al fine di migliorare la modellizzazione della geometria ed ottenere una migliore comprensione e migliori strumenti di calcolo. Fornisce inoltre nuovi strumenti per strutture non-commutative, dimensioni superiori e passaggi dal locale al globale, grazie alla nozione di « inverso algebrico della suddivisione ». Spieghiamo il modo in cui gli autori sono pervenuti a queste idee, estendendo in primo luogo la nozione classica di gruppo astratto a quella di gruppoide astratto, nel quale la composizione è definita solo parzialmente, come nei « percorsi di composizione » in cui si aggiunge una componente spaziale alla usuale teoria dei gruppi. Viene usato un esempio della teoria dei nodi al fine di spiegare come una tale algebra possa essere usata al fine di descrivere alcune strutture spaziali. L'estensione a due dimensioni usa la composizione dei quadrati in due direzioni e la ricchezza dell'algebra corrispondente è dimostrata da alcuni conti in due dimensioni. La difficoltà del passare da una a due dimensioni è anche illustrata dal raffronto del quadrato commutativo con il cubo commutativo, la cui discussione richiede concetti nuovi. Si spiega infine l'importanza della teoria delle categorie e lo spazio delle applicazioni attuali e possibili dell'algebra di dimensioni superiori.

PAROLE CHIAVE : algebra di dimensioni superiori, teoria dei nodi, gruppi, groupoidi, teoria delle categorie, connessione, metodi cubici.

Ronald BROWN, born in 1935, is emeritus professor, « Leverhulme Emeritus Fellow » in the Department of Mathematics, at the University of Wales, Bangor. His research concerns topology, the theory of categories and their application.

Address : University of Wales, Bangor, Department of Mathematics, Dean Street, Bangor, Gwynedd, LL57 1 UT, U.K.

E-mail : r.brown@bangor.ac.uk

Timothy PORTER, born in 1947, is professor of mathematics in the Department of Mathematics, University of Wales Bangor. His research concerns topology, logic, the theory of categories and their application.

Address : University of Wales, Bangor, Department of Mathematics, Dean Street, Bangor, Gwynedd, LL57 1 UT, U.K.

E-mail : t.porter@bangor.ac.uk

We would like to thank Giuseppe Longo for the invitation to give the talk by the first author of which this article is a development, and for suggesting the thrust in terms of explanation of the words in the title. For example he asked a key question : how can an internal notion of algebraic dimension, besides vectorial independence, structure space ?

Since this article is based on a talk in a series including the area of « Cognition », we hope that these attempts to show a rôle of intuition in mathematics will also be useful. Intuition clearly has a cognitive rôle ; it also has an emotional rôle, in displacing fear. It also has a crucial rôle in planning research, and in this area of higher dimensional algebra which Ronald Brown started in 1965 the clarity of some of the intuitions was the force which kept the project going despite a very slow start, and also despite a fairly wide scepticism. However the idea would not go away.

These aspects of intuition, cognition, emotion, and planning are also relevant to the study of the nature of the mathematical process ; one must presume that a « complete » answer to this study would involve so many answers in cognitive science itself that it is clear we can expect only partial answers. It may also be that an adequate cognitive science description of mathematics will in fact need some new mathematics ! The reason for this is that mathematics is also a descriptive language, which may not be translatable.

For example, a photon or electron can be adequately described only in mathematical terms. If instead you try to use ordinary language, then you seem to have paradoxes, as you try to force analogies with events on a different scale. So in the usual two slits experiments, we tend to say in ordinary language that « the photon has to pass through one or the other slits », but this is inadequate to describe what actually happens when an interference pattern builds up in the experiment. It is even more difficult to describe in ordinary language the phenomenon of entanglement, where the states of two particles are linked over a macroscopic distance.

The development of a new mathematics for the description of the cognitive bases of mathematics would correspond to the way in which attempts to give a logical foundation for mathematics led to many new developments in mathematics, and also in logic, so that logic came to be not a foundation for but a part of mathematics (see for example the papers by Longo¹). It would also reflect the capacity for self reference which is an important part of logic. Part of the interest in this seminar for us was that in preparing for giving it and then writing it up, it would develop wider scientific contacts and might spark new

1. LONGO, 1998 and 2001.

ideas on what that kind of new mathematics might be. One would like mathematics to be as effective in, say, neurological sciences as the article by Eugene Paul Wigner² suggests it has been in other sciences. That success has required, as Wigner explains, the development and skillful exploitation of appropriate mathematical concepts.

Mathematics is often thought of in the public mind as concerned with technique and performance, or with problem solving, rather than ideas, and it is perhaps for this reason that the association of mathematics with fear is common. It would be better to see mathematics not as a subject capable of a finished description and account, but as a process, involving refinement of arguments and concepts, and where new fundamental ideas are still possible, even if subject to the usual difficulties of any revolution in science. These new ideas may in fact bypass the apparent and accepted priorities for solving already formulated problems. The development of mathematics is also a sociological process. The book of George Lakoff and Rafael Núñez, *Where mathematics come from. How the embodied mind brings mathematics into being*³, gives further discussion of related issues.

For Ronald Brown, the initial impetus towards higher dimensional algebra came while writing a text on topology in the 1960s⁴. A basic result in topology is known as the Van Kampen theorem : it allows the calculation, for a space which is built up of smaller parts, of an invariant called the « fundamental group ». It seemed useful to generalise this Van Kampen theorem to allow wider calculations, and it turned out as shown in 1967 – in « Groupoids and Van Kampen's theorem⁵ » – that this could be done by generalising the theorem from groups to what in 1926 were called « groupoids ». This notion will be explained later. The notion of abstract group is widely regarded as a fundamental concept in mathematics and physics, as groups are considered the mode for encapsulating notions of symmetry. So the above work raised the question as to the wider advantages of replacing groups by groupoids – a survey on this published in 1987 is « From groups to groupoids. A brief survey⁶ » – which also explains how one stimulus for the notion of groupoids came from extending work of Gauss in arithmetic. Further thought also suggested that the proof of the groupoid Van Kampen theorem could be extended to all higher dimensions if certain key constructions could be carried out. This conjectural theory was mentioned in the introduction to « Groupoids and Van Kampen's theorem⁷ ». There is a general idea here : find algebraic

2. WIGNER, 1991.

3. LAKOFF and NÚÑEZ, 2000.

4. BROWN, 1968 and also 1988.

5. BROWN, 1967.

6. BROWN, 1987.

7. BROWN, 1967.

structures which enable one to describe the behaviour of at least some complex systems in terms of the behaviour of their individual parts.

At the time, this notion of generalising the Van Kampen theorem was an idea of a proof in search of a theorem. All that Brown then knew existed in terms of proper mathematics, with the usual repertoire of definitions, examples, lemmas, theorems, proofs, counterexamples, was a definition and one major example namely the double category of commutative squares in a category as given by Charles Ehresmann in *Catégories et structure*⁸. So it was like having a theme and climax for a play but without the major characters being clear. With further clues being noticed and through fortunate collaborations (Christopher Spencer, Philip Higgins and research students Keith Dakin and Nick Ashley), the characters gradually appeared. A story valid in all dimensions was published in 1981⁹. It was very gratifying to find fifteen years or so from the start that the intuitions had not only sustained the development of a substantial new theory but were also neatly encapsulated in it. The subject is still developing fast. In recent years much wider possibilities for these ideas have become apparent, with applications not only in mathematics but also in physics and computer science, as a web search on « higher dimensional algebra » will show¹⁰.

One of the questions that arose from this success was the following. We normally write mathematics on a line, made up of formulae in which each symbol is related to those to the left and those to the right. (There are some exceptions to this which we will ignore for the moment.) The question is whether this « on a line » is a necessity or whether there are wider possibilities with useful applications.

Here is a quote from John Baez, whose web site and papers¹¹ have a lot on this area :

« [...] not only does higher-dimensional algebra seek to burst free of certain habits of “linear thinking” that tend to go along with symbol string manipulation, it also has been a bit outside the mainstream of mathematics until recently.

« Now, when I speak of “linear thinking” I am not indulging in some vague new-agey complaint against rationality. I mean something very precise : the tendency to focus one’s energy on operations that are easily modelled by the juxtaposition of symbols in a line. The primordial example is addition : we have a bunch of sticks in a row :

|||||

8. EHRESMANN, 1965.

9. BROWN and HIGGINS, 1981a and 1981b.

10. BROWN, 1996 ; STREET, 1996.

11. BAEZ, 2001 and 2003*.

and we say there are “5” sticks and write :

$$1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5.$$

« Fine. But when we have a 2-dimensional array of sticks :

```

| | |
| | |

```

we are in a hurry to bring the situation to linear form by making up a new operation, “multiplication”, and saying we have 2×4 sticks. This isn’t so bad for plenty of purposes ; it’s not as if I’m against times tables ! But certain things, particularly in topology, can get obscured by neglecting operations that correspond most naturally to higher-dimensional forms of juxtaposition, and Brown’s paper¹² explains some of these, and how to deal with these problems. The point is not to avoid linear notation ; it’s to avoid falling into certain mental traps it can lead you into if you’re not careful¹³ ! »

This questioning of standard usage relates to a comment of Einstein :

« For when I turn to science not for some superficial reason [...] then the following questions must burningly interest me as a disciple of science : What goal will be reached by the science to which I am dedicating myself ? To what extent are its general results “true” ? *What is essential and what is based only on the accidents of development*¹⁴ ? [...] It is therefore not just an idle game to exercise our ability to analyse familiar concepts, and to demonstrate the conditions on which their justification and usefulness depend, and the way in which these developed, little by little [...]¹⁵. »

Recent developments in computer science suggest this « higher dimensional algebra » relates to a « higher dimensional logic » which may have important and practical applications¹⁶.

The great physicist, Paul Dirac, in one of his last addresses, explained his own credo :

« One should allow oneself to be led in the direction which the mathematics suggests [...] [o]ne must follow up [a] mathematical idea and see what its consequences are, even though one gets led to a domain which is completely foreign to what one started with... Mathematics can lead us in a direction we would not take if we only followed up physical ideas by themselves¹⁷. »

12. BROWN, 1992.

13. BAEZ, 1995.

14. Our emphasis.

15. Attributed to Einstein, see *Mathematical Intelligencer*, ser. 12, 2, p. 31.

16. See for example MONTANARI, 2003*, and the references these papers contain.

17. Quoted in FERRIS and FADIMAN, 1991, p. 63.

SPACE

In this section we develop some general ideas on the mathematical notion of space.

In the paper « The space of mathematics. Philosophical, epistemological and historical explorations¹⁸ » of Friedrich William Lawvere, the point is made that a space is both a domain for intensively and extensively variable quantities, as well as an arena for « becoming », where becoming refers to the objective processes of motion, development, and change. By analogy, subjective objects (such as data types) and subjective processes (such as encoding) are sometimes objectified as taking place in space-like categories. In other words, he suggests the important idea that the mathematical notion of space is a repository for the encoding of motion. By « motion » we include « change of data ».

From an evolutionary point of view the ability of an organism to deal with changes in the environment is crucial, so that some method of internal coding or mapping of such changes would develop, and clearly has developed. The great geneticist Theodosius Dobzhansky has written in 1973 a famous paper : « Nothing in biology makes sense except in the light of evolution¹⁹. »

We have moved from the greek view that there was only one geometry, to a much more eclectic approach and in mathematics the word « space » is almost overused. It comes with adjectives such as topological, vector, Hilbert, Euclidean, hyperbolic, and many others. Euclidean space is concerned with the data arising from angle and distance, governed by Pythagoras' theorem ; vector spaces are concerned with directions ; topological spaces are concerned with continuity ; and so on.

Another illustrative idea is in the notion of « phase space » in physics. For example, the motion of a simple pendulum can be represented by a point on a circle, given by the angle of the pendulum to the vertical. But the « phase space » for a double pendulum, which is a short rod fixed to the end of another rod, is described by two circular coordinates and so is what mathematicians call a « torus » and is more familiar as a doughnut or inner tube.

Notice once again that the surface of the torus looks locally flat, just like the Earth, but that globally it is not, and also the torus differs globally from the Earth. One of the aims of mathematics, and in particular the branch called topology, is to show clearly and in a way which leads to calculation in what these differences consist.

18. LAWVERE, 1992.

19. DOBZHANSKY, 1973.

An important use of the notion of phase space was in celestial mechanics, the study of the motions of the planets and stars. A problem Newton solved was the two body problem : the motion of two bodies under an inverse square law of gravitation. The problem of the motion of three bodies became an important goal in the XIXth century. It gradually became clear that an explicit solution similar to the two body case was not possible, so Poincaré initiated a qualitative study. Each of the three bodies has three coordinates of position and three of velocity, so that makes a total of 18 dimensions. However the motion from a given starting impetus is governed also by the energy equation $E = \text{constant}$, and this restricts the motion to a space M_E of 17 dimensions. A particular motion can be seen as a path in this space M_E . Each point in M_E represents a particular configuration of the three bodies (a total of 9 coordinates) but also has 9 other coordinates that represent the tangents to their curves of motion, thus encoding their change of position. As a point moves smoothly along a path in M_E , the positions and velocities of the bodies in the corresponding configurations change smoothly and their change will be consistent with the energy constraint. So the emphasis was changed from a study of one motion to a study of the phase space M_E which encapsulated all possible motions with a given energy E .

The space M_E has a kind of structure called in mathematics a « 17 dimensional manifold ». An example of a 2-dimensional manifold is a sphere. It is usual to think of the surface of the Earth as a sphere and at a coarse-grained observational level this is a good model. We can use this model in two ways. (a) We can study abstract spheres in order to understand the geometry of the surface of the Earth. (b) We can also use analogy, intuition and our experience of the surface of this planet, to develop and then to study properties of abstract spheres, other 2-dimensional manifolds and, with care, higher dimensional manifolds such as M_E . For instance, it is standard that locally the Earth seems flat, and so we can use flat charts to describe with reasonable accuracy our immediate environment. However the whole Earth cannot be accurately modelled by one flat map, because the Earth is round ! Instead one needs a collection of charts called an atlas and as one travels the Earth one has to switch from one chart to another. The general abstract situation for this is the mathematics of « manifolds ». The set of charts give a particular way of « structuring » our knowledge of the Earth, and one which is of course important for, and indeed derived from, travel, in accordance with Lawvere's dictum.

Here is another illustration of the idea of space from knot theory. Figure 1 includes an illustration of a knot called a pentoil.

FIG. 1. – *Flying around a knot*

In order to study the knot, it is convenient to study the space around the knot, which we call the « knot space » for the pentoil. This is an important point in the development of tools for understanding space. If one is exploring a city or an individual building in a city, it is useful, if not essential, to travel around it. The use of terms such as « maze » or « labyrinth » to describe the structure of the street plan of an old quarter of a city is quite common and when you have traced a tortuous route through narrow alleys arriving once again in front of some distinctive key monument, the sense of achievement, and sometimes relief, is often striking. You have managed to understand something more about the geometry of the city by tracing paths through it. Likewise to understand the complexity of a knot, it is useful to travel (fly ?) in the space around the knot. (Travelling around in the knot itself tells one very little. It is a bit like studying the street plan of the city but never venturing outside of the building you are in !) This space is a bit like a 3-dimensional labyrinth, yet we note that this space looks locally like our ordinary 3-dimensional space. Globally, however, it is quite different.

One of the major problems is how to analyse this difference in ways which lead to deduction and calculation and to methods suitable for a wide range of examples. As with many spatial problems, one possible way is to algebraicise the problem in some way. Algebra, like other parts of the mathematical tool kit, allows for a high degree of certainty in the validity of deductions and calculations. If problems arise, it is usually at the level of the fitness of the algebra to model the feature under study. Once modelled, the logical progression of the algebraic machinery will, hopefully, lead to some greater understanding of the feature. Such has been the experience of many developers or applicers of mathematics and is the reason why mathematics is at the centre of high technology, from engineering and computer science through to biology and cognitive science.

ALGEBRA

In the case of the knot space, we regard flying around the space as probing the space by means of paths, rather like knowledge of the Earth was found by travelers. An important fact is that paths (journeys) can be composed : a path x can be followed by a path y to give a path xy , called the « composition » of the two paths. This is one way in which algebra comes into the study of structured space.

A problem with considering all paths in our knot space is that there are too many of them ! So we try to reduce the complication by classifying the paths, and considering only the classes of equivalent paths. This is analogous to considering species of animals instead of individuals. For our paths, we consider two paths as « the same » if they start and finish at the same points, say p and q , and also if one path can be deformed into the other keeping the end points fixed at p, q . We cannot here go into the precise definition of « deformation » but the essential idea should be clear. We think of the paths as pieces of string with a certain elasticity, so that in the deformation we can stretch or shrink the string to a certain extent. (This analogy with string is not quite right since in a deformation of a path we also allow the path to cross itself.)

The path classes have the remarkable property of forming under composition what mathematicians call a groupoid. A groupoid is a set X of « arrows », a set P of « objects » or « vertices », and two functions $s, t : X \rightarrow P$ called the source and target maps ; we write $x : s(x) \rightarrow t(x)$ for any x in X , and write $X(p, q)$ for elements of X with source p and target q . Further there is a partial composition xy for elements x, y of X defined if and only if the target $t(x)$ of x is the same as the source $s(y)$ of y . This corresponds to the idea that journeys do not have sudden jumps (« quantum leaps ») in the middle. We make further assumptions that the composition is associative (*i.e.* $x(yz) = (xy)z$ whenever both sides are defined) ; that for each p in P there is an element $1_p : p \rightarrow p$ of X which acts as an identity, so that $1_{sx}x = x, x1_{tx} = x$ for all $x \in X$; and finally for each $x \in X$ there is an inverse $x^{-1} : t(x) \rightarrow s(x)$ such that $xx^{-1} = 1_{sx}, x^{-1}x = 1_{tx}$. Notice that we use a notation for the operation of standing still. This may seem pedantic but is in fact crucial. This kind of pedantry, the paying attention to simple aspects, is one of the ways in which mathematics progresses. Mathematics was held back for centuries for lack of the number zero, which simply counts the number of things in an empty box.

For those familiar with group theory, these rules can be thought of as axioms for a « group with many identities » and the reason we get round the basic proposition that a group has only one identity is that in a groupoid the composition xy is not always defined, and in fact is defined precisely under the geometric condition $t(x) = s(y)$. This is a key idea for higher dimensional developments, which involve more complex shapes than arrows, and so it is more complicated to say when a composition is defined.

However groupoids were not defined until 1926, and so Poincaré's theory of paths was phrased in terms of groups, that is by looking in a space at the paths that start and end at some single fixed « base point ». This leads to a « fundamental group » for a pointed space, that is for a space with a choice of basepoint. Following this, topologists of the early xxth century sought to express higher dimensional phenomena in terms of generalisations of the fundamental group. In 1932 this direct approach was found to fail since « higher dimensional groups » are less complicated than groups. In fact the mathematician Eduard Čech submitted a paper on « higher homotopy groups²⁰ » to the 1932 International Congress of Mathematicians at Zurich : however two famous topologists Pavel Sergeevich Alexandroff and Heinz Hopf quickly proved that these structures were commutative, that is $xy = yx$ for all x, y , and so can not adequately capture higher dimensional phenomena. We explain this result later. On this ground Čech was persuaded to withdraw his paper, and the importance of his ideas was not realised until three years later.

A construction from geometric data of higher dimensional homotopy groupoids, rather than groups, was achieved by Ronald Brown and Philip John Higgins in 1974, and published in 1978²¹. This gave an impetus to further work with Philip John Higgins and with Jean-Louis Loday²².

The replacement of groups by groupoids has an effect of allowing the set P of objects or vertices of the groupoid to give the notion of a group an additional « spatial component » – this allows for more powerful geometric applications. A group is a groupoid with only one vertex. Studying only groups corresponds say to considering rail journeys from Bangor back to Bangor. But some of us might like to stop off at intermediate stations and the description of the journeys then requires groupoids rather than groups. This can be expressed more mathematically as « subdivision leads from groups to groupoids ». It is partly for this reason that groupoids have powerful applications to local to global problems.

The importance of the passage from groups to groupoids is also suggested by Alain Connes, in *Non-commutative Geometry*²³, where he shows that Werner Heisenberg, while not knowing the formal concept of groupoid, still discovered quantum mechanics by looking at a groupoid of transitions of the hydrogen spectrum rather than a group of symmetry. This confirms the intuitive basis of the concept.

The way we can calculate with groupoids is well seen by considering our classes of paths around a knot. We draw a diagram of the knot, label the overpasses and also give a direction to the knot so that we can say which way round

20. ČECH, 1932.

21. BROWN and HIGGINS, 1978.

22. BROWN and HIGGINS, 1981a and 1981b ; BROWN and LODAY, 1987.

23. CONNES, 1994.

a path goes if it is near to an overpass. We then label a loop class around an overpass by the label of the overpass. But at each crossing we get a relation shown in figure 2 which says that going under the

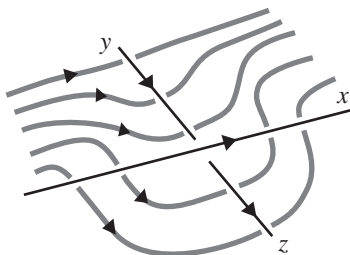


FIG. 2. – *Relation at a crossing*

overpass y from left to right is equivalent to going under x from top to bottom, then under z from left to right, and finally back under x again from bottom to top : this is much more easily expressed in symbols as :

$$y = x^{-1}zx$$

Thus for the pentoil we get 5 relations, one for each crossing, and we can use them to eliminate all except x, y to get the relation :

$$xyxyxy^{-1}x^{-1}y^{-1}x^{-1}y^{-1} = 1 \quad (1)$$

The left hand side of this equation corresponds to wrapping string around the knot as in figure 3.

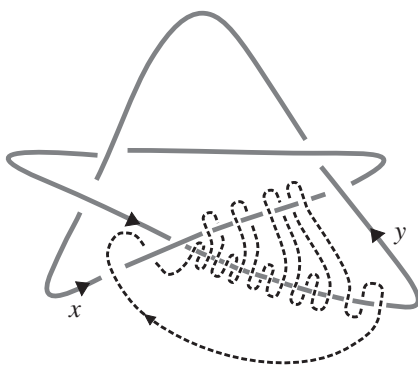


FIG. 3. – *Wrapping string around the pentoil*

The fact that the left hand side of the equation (1) is « = 1 » means that the string can be undone from the knot without cutting, as was demonstrated in the seminar using a pentoil made of copper tubing. No other formula for tying string on the knot will allow the string to come off the knot. In this way we show how algebra can give to a spatial problem an exact and surprising application. In effect, algebra can show some of the structure of a space.

This knot trick also suggests a typical higher dimensional problem. The equation (1) relates to the fact that the loop of string comes off the knot. The next question is to classify the ways in which it will come off. Is there « essentially » only one way, or are there more than one ? For questions of this type, a higher dimensional approach has been found to give new answers and new computations²⁴.

FROM GEOMETRY TO COMPUTATION

The previous section has given some of the intuitive ideas behind the path or Poincaré groupoid $\pi_1(P)$ of a space P . This groupoid gives rise to path groups $\pi_1(P, p)$ for each point p of P , made up of classes of loops at p , *i.e.* paths from p to itself. The Poincaré group was for a long time considered as more significant mathematically than the Poincaré groupoid. However when Brown was writing a textbook on topology in the mid 1960s it became clear to him that the whole theory made more sense and, possibly as a consequence, the methods of calculation that ensued were more powerful, if the exposition was given in terms of groupoids rather than groups²⁵. The basic reason was that groupoids are better than groups for expressing subdivision. This led him to consider the possible use of groupoids in higher dimensional topology. The excitement of this possibility was that groups play a very significant rôle in mathematics, but it now appeared that they could be just level 1 of a range of new structures for studying higher dimensional phenomena. Thus a naive viewpoint is that n -dimensional geometry requires for its proper expression n -dimensional algebra (as suggested in 1987²⁶). This is part of a general progress in mathematics :

geometry \rightarrow underlying processes \rightarrow algebra \rightarrow algorithms \rightarrow computer implementation

with the aim of enhancing geometrical insight by extensive calculation. Each of these stages requires a different kind of work, and appeals perhaps to different

24. BROWN, 1996.

25. BROWN, 1967.

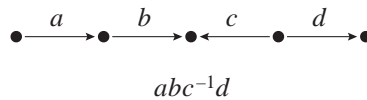
26. BROWN, 1987.

people. The first stage is one that often requires a new range of concepts to describe the « underlying processes », while the algebra can be considered as giving the laws which these concepts have to obey. The advantage of having new algorithms is that immediately you can get new answers, though sometimes computers are needed to do more than the easiest of examples.

Another way of putting the first stage of this process is that to solve some geometric problems may require a new structured language. For the Greeks, this language was the geometry of Euclid. The most notable recent instance of success of this approach of developing a new language to solve problems is the monumental work of Alexander Grothendieck, which laid necessary foundations for the work of Andrew Wiles on Fermat's last theorem. We have a letter from Grothendieck in which he speaks of « the difficulty of bringing new concepts out of the dark », and this suggests that he also saw as an aim for mathematics the development of language for an area, regardless of its success in a well known problem.

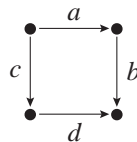
HIGHER DIMENSIONAL ALGEBRA

Now we must get to more details on the intuitions of higher dimensional algebra. Let us start with a basic picture and its algebraic expression :



This is the mathematics of reversible processes : groupoids rather than groups. The formula $abc^{-1}d$ (in which c^{-1} denotes the reverse path) gives a kind of « algebraic inverse » to the subdivision represented by the diagram.

Again, given a square diagram as follows :

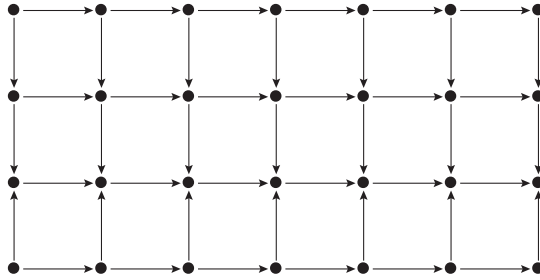


it is easy to say that the square is « commutative » if :

$$ab = cd, \text{ or } a = cdb^{-1}$$

In words, going one way round the square is the same as going round the other way. The formulae given make excellent sense as part of say the theory of groups or of groupoids, and are part of the standard repertoire of mathematics.

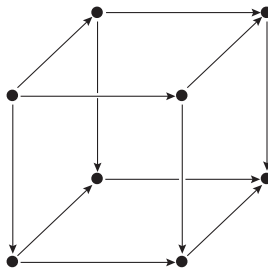
The problem comes when we try to express similar ideas in just one dimension higher. How can one write down algebraically the following picture, where each small square is supposed labelled ?



The diagram shows a square (strictly a rectangle) cut up into little squares but we wish for an algebra which will put them together again. The mathematical word for cutting up is « subdivision », so we can give the slogan of « finding an algebraic inverse to subdivision » in dimension 2. We require an algebra which can express this kind of multiple composition in two directions.

This algebra should also have the property that any multiple composition of commutative squares is commutative. This is a property which is used crucially in the proof of the Van Kampen theorem for the fundamental group or groupoid, that is in the 1-dimensional theorem.

A further problem is to write down algebraically a formula corresponding to one for the above commutative square, but now for the 3-dimensional cube :



What does it mean for the faces of the cube to commute, or for the top face to be the composition in some sense of the other faces ? This question goes to the historical roots of algebraic topology, namely the question of expressing what could be meant by a « composition » of the pieces into which a space may be subdivided. We often use a subdivision to give a structure to a space, cutting it up into small comprehensible pieces, but we wish also to know methods and laws which describe how the space will behave when it is put together.

This is modelled by compositions of cubes and, assuming we know what a commutative cube is, we want to know that any composition of commutative cubes is commutative.

Čech's 1932 work on higher homotopy groups mentioned above can be described as considering a set with two group structures and a compatibility condition called the interchange law. This gave rise to commutative groups, as we can now explain in some detail.

Suppose given a set X with two group structures, say o_1, o_2 , with identities e_1, e_2 . These structures could be thought of as given by the following pictures :

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{|c|} \hline x \\ \hline z \\ \hline \end{array} & & \begin{array}{|c|c|} \hline x & y \\ \hline \end{array} \\
 x \ o_1 \ z & & x \ o_2 \ y
 \end{array} \tag{2}$$

These structures should be « compatible » in some way, and the natural condition to impose is that the following diagram of composites

$$\begin{array}{|c|c|} \hline x & y \\ \hline z & w \\ \hline \end{array} \tag{3}$$

can be interpreted in only one way. This is called the « interchange law ».

It is convenient to use a matrix notation. So we write :

$$\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} \text{ for } x \ o_1 \ z, \quad [x \ y] \text{ for } x \ o_2 \ y$$

and finally :

$$\begin{bmatrix} x & y \\ z & w \end{bmatrix}$$

for the multiple composition in (3). Notice that these matrices denote not arrays but instead the compositions of the elements formed from the array.

Theorem 4.1 *Let G be a set with two binary operations o_1, o_2 , each with identities, and satisfying the interchange law. Then the two binary operations coincide, and are commutative and associative²⁷.*

Here is the proof of the theorem.

27. The terms commutative and associative are explained below.

We use some special cases of the interchange law. Let e_1, e_2 denote the identities for the structures o_1, o_2 . We evaluate a matrix composition in two ways yielding easily that :

$$e_1 = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 \\ e_2 & e_1 \end{bmatrix} = e_2$$

We write then e for e_1 .

Now we consider the matrix composition :

$$\begin{bmatrix} x & e \\ e & w \end{bmatrix}$$

Interpreting this in two ways yields :

$$x \circ_{o_1} w = x \circ_{o_2} w \tag{4}$$

So we write o for each of o_1, o_2 .

Finally we consider the matrix composition :

$$\begin{bmatrix} e & y \\ z & e \end{bmatrix} \tag{5}$$

and find easily that :

$$y \circ z = z \circ y$$

This is what we mean by saying the binary operation is commutative.

We leave the proof of associativity (that the rule $x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z$ always holds) to the reader. This completes the proof.

This seemed from 1932 onwards to be the end of higher dimensional algebra in algebraic topology ! It showed that higher dimensional groups are just commutative groups. This was a tremendous disappointment. Nonetheless the homotopy groups defined by Čech²⁸ were developed by Witold Hurewicz in 1935²⁹ and have become an important area of research in mathematics.

A crucial feature of the above proof is that all the compositions are defined. If you try and write out a similar proof for a set with two groupoid structures you find that all that is proved is that the structure contains a family of commutative groups, but it does not reduce the whole structure to something simpler. This is one of the basic insights for the development of higher dimensional group

28. ČECH, 1932.
 29. HUREWICZ, 1935 and 1936.

theory and of higher dimensional algebra. It seems that double groupoids are in some sense « more non-commutative » than groups (or groupoids) and so this does raise the question of their potential future rôle in non-commutative geometry as developed Connes³⁰.

One aspect of the general spirit of higher dimensional algebra is that it is dealing with algebraic structures involving operations defined under geometric conditions. This combination allows a marriage of algebra and geometry. So just as a path is given with two end points, a square is supposed to have four edges and four vertices, and we keep the spirit of diagrams (1) by supposing that the compositions there are defined if and only if the obvious geometric conditions are satisfied. The boundary of a composite square is to be as expected from the geometry : for example, two of the boundary edges of $x \circ_2 y$ are composites of the edges and the other two are edges of x or of y . We also impose the law (2) which is called the interchange law.

Next we need identity squares corresponding to the edges, but in fact we need more as given by the following list.

$$\begin{array}{ccccc} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ & 1 & \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} a & 1 & a \\ & 1 & \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & b & 1 \\ & b & \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} a & a & 1 \\ & 1 & \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & a \\ & a & \end{pmatrix} \\ \square & \equiv & || & \lrcorner & \ulcorner \end{array}$$

Here the top line gives the boundaries of the squares and the bottom line gives a notation we shall use. Also any identity edge is written just 1 though in fact there are many identities, corresponding to the points. The first square is a double identity and does not alter a square wherever it is put, provided the composition is defined. The second and third are identities in each direction, so we have equations such as :

$$[x \quad \equiv] = x, \quad \left[\begin{array}{c} x \\ | \quad | \end{array} \right] = x$$

The fourth and fifth are new types of square which are called « connections », and which do alter the boundary of the square. They correspond to the idea that in two dimensions you can not only move in each direction, stop, or turn back, but you can also turn left and right. Thus we begin to see that 2-dimensional algebra holds new possibilities.

So why on earth restrict to dimension 1 ? You will surely know the famous book *Flatland* by Abbott³¹, and where the supposed author visited Lineland,

30. CONNES, 1994.

31. ABBOTT, 1976.

and Higgins in 1979³³. They have been shown crucial in recent work on concurrency in computer science³⁴. It is quite difficult to give analogous formulae for commutative cubes in all dimensions but a method is given in two papers³⁵.

We will now give a flavour of this « two dimensional algebra » by showing a fairly elaborate calculation with these elements, which involves taking a big composition and then reducing it in two different ways.

We would like to prove the equality of the following two 2-dimensional compositions in the case we are given edges a, b, c, d such that the 1-dimensional compositions ab, cd are defined and are equal. This is why the middle rectangles in the following two compositions are well defined.

	┌	=	=	a	c	┐	(6)
c	d		=	b	d	=	
a			┌	b	d	=	
┐			┐	=	=	=	

To prove this we construct a common « subdivision ». One that is appropriate for this case is :

			c				
	□	□	□		┌	d	
	┌	=	a	c	┐		(7)
		┌	=	b	d	=	
a	┐		□	□	□		
		b					

33. BROWN and HIGGINS, 1981a and 1981b.
 34. GAUCHER, 2000 ; GOUBAULT, 2000.
 35. AL-AGL, BROWN and STEINER, 2002 ; GAUCHER, 2000.

From this diagram, we may compose parts of the second and third rows using the transport law and then rearrange things once more, getting the left hand side of (6) as indicated below :

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 & & c & \\
 \hline
 \square & \square & || & \ulcorner \\
 \hline
 \ulcorner & ab & \equiv & \lrcorner \\
 a & b & & c & d \\
 \hline
 \lrcorner & || & \square & \square \\
 & b & & \\
 \hline
 \end{array}
 & = &
 \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & c \\
 \hline
 || & \ulcorner \\
 \hline
 c & d \\
 \hline
 & || \\
 a & b \\
 \hline
 \lrcorner & || \\
 & b \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}$$

A similar reduction, left as an exercise, gets the right hand side. (This calculation is in the paper by Ronald Brown and Ghafar H. Mosa³⁶, which contains more details on the formal definitions.)

Even if you do not follow the details of this argument, we hope it shows enough to illustrate the richness of higher dimensional algebra and to help build some intuition of how one might more accurately model higher dimensional phenomena by what might be called the algebra of higher dimensional paths.

With this intuition available, let us look briefly at how complex processes such as those found in the biological and cognitive science contexts might be modelled. One possibility might be via some high dimensional manifold, consisting of the various choices of all the observable parameters of the context constrained by various « conservation laws ». Here the geometry will depend strongly on those conservation laws (think back to the three body problem with 18 coordinates constrained by the energy conservation rule). How is one to model conservation of knowledge or belief ? How is one to measure those quantities ? This task seems, to two non-specialists, impossibly difficult, although we will discuss it later. It may however be trying to put the cart before the horse. Our thought experiment would go like this. Imagine such a cognitive phase space could be found as a non-trivial model for some significant aspect of behaviour, knowledge, belief or whatever. How would one study it ? For many spaces initial information on their structure can be gleaned from their « homotopy type », that is, their more combinatorial structure after deformation. It is exactly this sort of structure that the higher dimensional algebra was designed to model, so instead of aiming at a large spatial model as

36. BROWN and MOSA, 1999.

might be appropriate for a model of a purely physical situation, we might look for evidence or ideas for the applicability of models using higher dimensional algebra directly to handle the processes of cognitive science and related areas both of biology and of the computer science/artificial intelligence interface.

At the level of category theory, which is not in itself higher dimensional, there are attempts to model perception categorically in the work of Zippora Arzi-Gonczarowski³⁷; considerable discussion of modelling complex hierarchical systems in work of Andree Ehresmann and Jean-Paul Vanbremeersch³⁸; and some discussion of issues of categorical pattern recognition by Porter³⁹. These, in a sense, correspond to looking at single processes (analogous to paths) so only use the low dimensional model. If we look at concurrency within computer science, higher dimensional phenomena intervene, Éric Goubault⁴⁰ and Philippe Gaucher⁴¹ model deadlock detection in, for instance, access problems to distributed databases. When modelling true concurrency, the use of Petri nets (due to Carl Adam Petri⁴²) is standard in both the analysis of control systems, for concurrency and for manufacturing systems. Petri nets lead to a special kind of 2-dimensional category and in the papers already referred to⁴³, Fabio Gadducci and Ugo Montanari have shown how going beyond Petri net models, beyond 2-categories, to double categories and their tile models, can allow more complex interacting processes to be studied. (The intuition in their models is very near to the geometric intuition used in the development of our own flavour of higher dimensional algebra even though they were not aware of the constructions coming from the topological context.)

So in a small way, higher dimensional algebra is making its appearance in these areas. Perhaps the use of purely « linear » mathematics (in the sense of « written on a line » or « 1-dimensional ») may soon be augmented in highly significant ways by its (underdeveloped as yet) higher dimensional relatives. If this is so then the above equations raise again the important point of subdivision as an inverse for composition.

If one analyses a number, say, 45, one has little choice as to how to « deconstruct » it multiplicatively : $45 = 3 \times 3 \times 5$. We have argued elsewhere that this extremely simple model can tell us a lot about the difficulties that face reduction to simpler parts⁴⁴. Here our point is slightly different : looking at

37. ARZI-GONCZAROWSKI and LEHMANN, 1998.

38. EHRESMANN and VANBREMEERSCH, 2001.

39. PORTER, 1994 ; CORDIER and PORTER, 1989.

40. GOUBAULT, 2000.

41. GAUCHER, 2000.

42. PETRI, 1973.

43. GADDUCCI and MONTANARI, 2000 ; MONTANARI, 2003*.

44. In a paper, in preparation, by BROWN (Ronald), PATON (Ray) and PORTER (Timothy), « Categorical hierarchical models for cell systems ? ».

ways of decomposing a higher dimensional « multi process » into simpler processes raises questions such as :

(a) Are there unique « atomic multi processes », (analogous to prime numbers) ?

(b) What decomposition rules apply ? (We know $45 = 3 \times 3 \times 5$ but it is also $5 \times 3 \times 3$. Order does not matter. For 2-dimensional decompositions, we know the equation (5) above applies and the analysis of Al-Agl, Brown and Steiner⁴⁵ can be interpreted as giving a complete set of rules for one interpretation of decompositions in higher dimensions. However the tile compositions used in the papers cited in the publications web page of Montanari⁴⁶ are more general.)

(c) If one decomposes into some choice of « generators » *i.e.* some generating « atomic » multi processes, how can one « rewrite » for another choice ?

(The choice of generators corresponds to a choice of language, and a choice of the logic for handling that language corresponds to the decomposition rules. Those decomposition rules can be interpreted as « rewrite » rules in the sense of rewriting theory but, interestingly, rewrite theory leads back into higher dimensional algebra⁴⁷. Is this by chance or is it saying something deep about our cognitive processes when « modelling » ?)

Consider composition of arrows in a category or groupoid. We tend to write this as an equation :

$$x \circ y = z$$

identifying z as the outcome of applying the composition process to the arrows x and y :

$$A \xrightarrow{x} B \xrightarrow{y} C \quad \text{gives} \quad A \xrightarrow{z} C$$

but the use of « equals » conveys the wrong impression since the left hand side is an expression and the right hand side is an element. It seems that the equation may be causing an example of the old error of identifying the end with the means, the result of a process with the process itself. Nearly always it is the process that ends up being the more important aspect so we will replace $x \circ y = z$ by some notation such as :

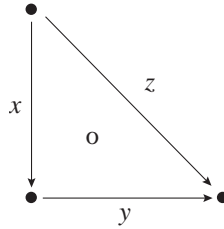
$$x \circ y \Rightarrow z$$

45. AL-AGL, BROWN and STEINER, 2002.

46. MONTANARI, 2003*.

47. See, for instance, BROWN and SPENCER, 1976 ; EHRESMANN and VANBREMEERSCH, 2001.

indicating x followed by y « rewrites to » z . The arrow formalism can even be written in a geometrical fashion :



Here o is the black box (process) which does the calculation.

Now the geometrical views of processes and « processes of processes » yield higher dimensional geometries, and so higher dimensional algebra. Here are two quotes on this, which show a geometricisation of ideas of processes, and seem quickly to capture some key ideas. They are taken with permission from two out of forty-three personal statements for a National Science Foundation research grant proposal by John Baez and Peter May on « n -categories, foundations and applications » :

« The idea at the center of my work since 1991 is that a collection of processes cooperating together to run some program can be modelled as a geometric shape or “space of configurations”. There is a need to characterise the shapes coming from the semantics of concurrent programs . » (Éric Goubault, 1991)

« An “operation” is something which takes several things as input and produces one thing as output ; we naturally picture this as a black box with the inputs as wires coming into the top and the output as a wire coming out at the bottom. Operations can be composed, and then the input is a planar tree of black boxes wired together and giving output from a single box. The process can be iterated leading to shapes of ever higher dimensions. » (Tom Leinster, 2001)

The above has given some indication of one strand in the development of higher dimensional algebra. Other workers have taken up the ideas in different ways and for different purposes – a web search on « higher dimensional algebra » shows applications not only in mathematics but also in physics and computer science. In particular the work of Baez⁴⁸ looks for higher dimensional algebra to give a handle on unified field theories. One aspect of this is that the notion of equality needs to be weakened, since two structures are rarely equal but they are often « isomorphic ». So one gets new kind of algebraic structures

48. BAEZ, 2003*.

with laws which hold only « up to isomorphism ». This theory is still being worked out, and there are many candidates for it⁴⁹.

LANDMARK THEOREMS

What from the point of view of this article are major difficulties and results in the area of higher dimensional algebra ?

In dimension 1 the shapes which could form a basis for a geometric view of algebra consist only of a point and a line segment with an arrowhead imposed. In dimensions more than 1 the number of usable figures is infinite.

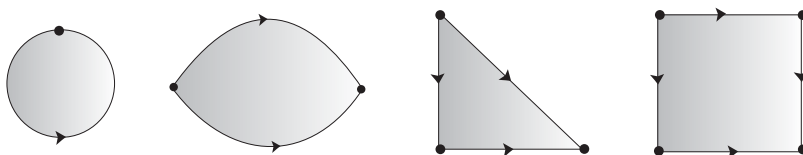


FIG. 4. – *Shapes*

The figure 4 shows the first few in dimension 2 : disc, globe, triangle (or 2-simplex), square. Handling this variety of shapes in an algebraic manner is one of the chief problems of developing the theory, as is showing that in some cases different descriptions are equivalent. The use of globes and simplices is central to much work in this area, as shown in the survey of Ross Street⁵⁰.

A further problem is to develop invariants analogous to the fundamental group or groupoid in these higher dimensions. In fact John Henry Constantine Whitehead in the 1940s developed work based on discs (giving a new concept of crossed module), and the relation of this with work based on squares (*i.e.* double groupoids) was a major feature of the generalisations of the Van Kampen theorem to higher dimensions⁵¹. The development of higher dimensional versions of this theory was a major task⁵². Michael Atiyah⁵³ suggests that key themes of XXth century mathematics have included local to global problems, non commutative methods, and higher dimensions. Higher dimensional algebra combines these three themes, and in particular, the work on higher dimensional

49. See, for example, LEINSTER, 2002.

50. STREET, 1996.

51. BROWN, HARDIE, KAMPS and PORTER, 2002 ; BROWN and HIGGINS, 1978.

52. BROWN and HIGGINS, 1981a and 1981b ; BROWN and LODAY, 1987.

53. ATIYAH, 2001.

Van Kampen theorems has given a lead on the types of algebraic structures suitable for such combined work.

It is important that the cubical work of Brown and Higgins in « The algebra of cubes⁵⁴ » was a stimulus to work in concurrency theory⁵⁵. The start of the use of cubical methods was due to Vaughan Pratt⁵⁶ and is based on the idea that the use of a number say N of processors should be represented by time of N dimensions. So one has to develop higher dimensional analogues of paths, in terms of multiple compositions of small pieces.

There is also a large theory of what are called « weak n -categories » which is still being worked out – see again the account by Leinster⁵⁷. This theory seems to be essential for some applications in physics⁵⁸ and in some areas of computer science and geometry. Thus there is a great « buzz » of developments and prospects.

Also, there has to be a way of constructing a space from the algebra, like constructing a real building from a number of diagrammatic charts. One looks at small pieces of algebra and constructs a space from that, and then shows how larger pieces of algebra lead to larger spaces. There is a lot of active research in this area (which is known as « classifying space theory »).

COMPUTATIONAL ISSUES

A well established model of computation is that of Turing, where a basic tool is a tape on which symbols are printed or erased. In this model, the array given in our introduction has to be translated into a list of lists, *i.e.* we have to replace the array by 8 or by 2×4 . One of the questions is whether there are other possible modes of computation in which the higher dimensional structure is not lost.

There is an important point here related to the confidence we have in mathematics. There are several reasons for this confidence. One is the open nature of mathematics, so that all the results and proofs are available for inspection. In this way sometimes quite long standing errors have been discovered. Another is its abstract nature, so that particular systems such as vector spaces, or homology theories, have evolved over a long period of time, and are tested in many instances. Another feature here is the modular nature of mathematics.

54. BROWN and HIGGINS, 1981a.

55. GAUCHER, 2000.

56. PRATT, 2003*.

57. LEINSTER, 2002.

58. BAEZ, 2001.

A less well recognised feature is its structural nature. Thus mathematicians are often « certain » of a proof even when not all the logical details have been checked – indeed, mathematics is not usually written in a way which enables the details to be checked at what one might call a machine logical level. But would such a check give certainty? A contrast could be given between describing a route to a railway station by listing a few turns and instead by listing all the cracks, etc., in the pavements on that route. The former method is more certain than the latter – within limitations, such as avoiding manholes! We do need theorem provers, which could help analogously to finding a route through a maze, but they need to work at the appropriate conceptual level. So the problem can be summarised: how can we reflect in computation the conceptual, modular, hierarchical structure of mathematics? How can one do structural mathematical computations (if that is the right phrase)? If the structural features by which we understand the mathematics of an algorithm are lost in the passage to a program, then the programmer also may make errors which are hard to detect. It will be very interesting to see if the development of new type theories and the languages which use them can solve this problem and still work in an efficient way to express complex algorithms to solve real computational problems.

Another point to make here is that there are very well used Computer Algebra Systems which usually give a very nice interface for calling some efficient algorithms. There are three potential problems with these: (a) sometimes to cope with a new problem, or to improve the methods, these algorithms really need to be tweaked or modified, and this can be difficult to accomplish; (b) the computer algebra system may carry overheads which make it difficult to achieve the greatest efficiency; (c) if for commercial reasons the mathematics of the algorithms is hidden, what confidence should the user have in the results the algorithms provide?

A great contribution to the progress of mathematics is exposition and explanation, so that it is not just a question of doing a calculation to verifying something, but also of knowing why something is true. That is, mathematicians are looking also for higher levels of explanation, however one defines such levels, so that a result has to be true because of the way it fits with general structural concepts. This theme is related to the role of intuition in the development of mathematics, and perhaps also to the role of beauty, as has been emphasised by many scientists.

Computers have proved very useful in applying algorithms to complex situations, but in higher dimensional algebra there are not so many of these algorithms. The finding of these for doing calculations that are needed is one of the challenges.

Higher dimensional ideas have proved useful for formulating and proving theorems, but turning these into computational tools has required a translation into a « linear » framework. Thus different views of the « same » kind of object

have been necessary to turn theory into practice. It is hoped that this method will prove more widely useful.

Is the linear model of computation adequate for mathematics ? Would a truly concurrent programming style use a higher dimensional concept of computation ?

There are a number of indications that more is needed. Several papers by Gadducci and Montanari⁵⁹ give a 2-dimensional model using double categories for problems related to processes and to concurrency. This also reacts with models for modal logics, which deal with the problems of conservation of knowledge, and of belief revision. The study of computation within such models and within quite general multiagent systems would seem to need some of the techniques and conceptual models of higher dimensional algebra.

It is the aim of this article to point a possible way and to stimulate further investigation. The basic intuitions are very strong and as Brown wrote provocatively in 1987 « n -dimensional geometry requires n -dimensional algebra⁶⁰ », thus suggesting a broader aspect of the 1982 article « Higher dimensional group theory⁶¹ ».

Ronald BROWN and Timothy PORTER*
(February 2003).

59. See, for example, GADDUCCI and MONTANARI, 2000.

60. BROWN, 1987, p. 128.

61. BROWN, 1982.

* We would like to thank : Giuseppe Longo for the invitation to lecture to his seminar ; Posina Venkata Rayudu of the National Brain Research Centre, Gurgaon, India, for helpful comments ; and Andree Ehresmann for helpful comments and additional references – readers interested in applications of category theory in biology should explore the web site <<http://perso.wanadoo.fr/vbm-ehr/>>. The works of Charles Ehresmann in category theory and of John Henry Constantine Whitehead in topology have been a strong influence in the development of this theory. We are grateful also to Laurie Catteeuw for her help in preparing the paper for this publication.

LIST OF REFERENCES

- ABBOTT (Edwin A.), 1976, *Flatland. A romance of many dimensions*, 1st ed. London, 1884, here Cutchogue, NY, Buccaneer Books. The text is also available at <<http://www.alcyone.com/max/lit/flatland/>>.
- AL-AGL (Fahd), BROWN (Ronald) and STEINER (Richard), 2002, « Multiple categories. The equivalence between a globular and cubical approach », *Advances in Mathematics*, 170, p. 71-118.
- ARZI-GONCZAROWSKI (Zippora) and LEHMANN (Daniel), 1998, « The category of artificial perceptions », *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 23, p. 267-298. (The site <<http://users.actcom.co.il/typographics/zippie/>> contains other relevant work by the same authors.)
- ATIYAH (Michael), 2001, « Mathematics in the XXth century. Geometry versus Algebra », *Mathematics today*, ser. 2, 37, p. 47-49.
- BAEZ (John), 1995, « This week's finds in mathematical physics », *Week 53*, 18 May (this text is also available at <<http://math.ucr.edu/home/baez/twf.html>>).
- BAEZ (J.), 2001, « Higher-dimensional algebra and Planck-scale physics », in CALLENDER (Craig) and HUGGETT (Nick), eds., *Physics meets philosophy at the Planck scale*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 177-195.
- BAEZ (J.), 2003*, <<http://math.ucr.edu/home/baez/papers.html>> (date of consultation).
- BROWN (Ronald), 1967, « Groupoids and Van Kampen's theorem », *Proceedings of the London Mathematical Society*, ser. 3, 17, p. 385-401.
- BROWN (R.), 1968, *Elements of modern topology*, Maidstone, McGraw Hill.
- BROWN (R.), 1982, « Higher dimensional group theory », in BROWN (Ronald) and THICKSTUN (Tom L.), eds., *Low dimensional topology*, Cambridge, Cambridge University Press (London Mathematical Society Lecture Note Series, 48), p. 215-238.
- BROWN (R.), 1987, « From groups to groupoids. A brief survey », *Bulletin London Mathematical Society*, 19, p. 113-134.
- BROWN (R.), 1988, *Topology. A geometric account of general topology, homotopy types and the fundamental groupoid*, Chichester, Ellis Horwood.
- BROWN (R.), 1992, « Out of line », *Royal Institution Proceedings*, 64, p. 207-243.
- BROWN (R.), 1996, « Higher dimensional group theory », web article available at <<http://www.bangor.ac.uk/~mas010/hdaweb2.html>>
- BROWN (Ronald), HARDIE (Keith), KAMPS (Heiner) and PORTER (Timothy), 2002, « A homotopy double groupoid of a Hausdorff space », *Theory and Application of Categories*, 10, p. 71-93.
- BROWN (Ronald) and HIGGINS (Philip John), 1978, « On the connection between the second relative homotopy groups of some related spaces », *Proceedings of the London Mathematical Society*, ser. 3, 36, p. 193-212.

- BROWN (R.) and HIGGINS (P. J.), 1981a, « The algebra of cubes », *Journal of Pure and Applied Algebra*, 21, p. 233-260.
- BROWN (R.) and HIGGINS (P. J.), 1981b, « Colimits of relative homotopy groups », *Journal of Pure and Applied Algebra*, 22, p. 11-41.
- BROWN (Ronald) and LODAY (Jean-Louis), 1987, « Van Kampen theorems for diagrams of spaces », *Topology*, 26, p. 311-335.
- BROWN (Ronald) and MOSA (Ghafar H.), 1999, « Double categories, 2-categories, thin structures and connections », *Theory and Applications of Categories*, 5, p. 163-175.
- BROWN (Ronald) and SPENCER (Christopher B.), 1976, « Double groupoids and crossed modules », *Cahier de topologie et géométrie différentielle catégorique*, 17, p. 343-362.
- ČECH (Eduard), 1932, « Höherdimensionale homotopiegruppen », *Verhandlungen des Internationalen Mathematiker-Kongresses Zurich*, Zurich-Leipzig, O. Füssli Verlag, vol. II, p. 203.
- CONNES (Alain), 1994, *Non-commutative geometry*, transl. Sterling K. BERBERIAN, San Diego (CA)-London, Academic Press.
- CORDIER (Jean-Marc) and PORTER (Timothy), 1989, *Shape theory. Categorical methods of approximation*, Chichester, Ellis Horwood (Mathematics and its Applications).
- DOBZHANSKY (Theodosius), 1973, « Nothing in biology makes sense except in the light of evolution », *The American Biology Teacher*, 35, march, p. 125-129.
- EHRESMANN (Charles), 1965, *Catégories et structure*, Paris, Dunod.
- EHRESMANN (Andree) and VANBREMEERSCH (Jean-Paul), 2001, « Emergence processes up to consciousness using the multiplicity principle and quantum physics », *American Institute of Physics Conference Proceedings*, August. (See also other papers on <<http://perso.wanadoo.fr/vbm-ehr/>>.)
- FERRIS (Timothy) and FADIMAN (Clifton), eds., 1991, *The World Treasury of physics, astronomy and mathematics*, Boston (MA)/London, Little/Brown and Co.
- GADDUCCI (Fabio) and MONTANARI (Ugo), 2000, « The tile model », in PLOTKIN (Gordon), STIRLING (Colin) and TOFTE (Mads), eds., *Proof, language and interaction. Essays in honour of Robin Milner*, Cambridge (MA)-London, MIT Press.
- GAUCHER (Philippe), 2000, « Homotopy invariants of higher dimensional categories and concurrency in computer science », *Mathematical Structures in Computer Science*, 10, p. 481-524.
- GOUBAULT (Éric), 2000, « Geometry and concurrency. A user's guide », *Mathematical Structures in Computer Science*, 10, p. 411-425.
- HUREWICZ (Witold), 1935 and 1936, « Beiträge zur Topologie des Deformationen », *Nederlandsche Akademie van Wetenschappen*, ser. A, 38, p. 112-119, 521-528, and 39, p. 117-126, 213-224.
- LAKOFF (George) and NÚÑEZ (Rafael), 2000, *Where mathematics comes from. How the embodied mind brings mathematics into being*, New York, NY, Basic Books.
- LAWVERE (Friedrich William), 1992, « The space of mathematics. Philosophical, epistemological and historical explorations », in *Categories of space and of quantity, International Symposium on structures in mathematical theories*, San Sebastian, Spain, 1990, Berlin, De Gruyter, p. 14-30.
- LEINSTER (Tom), 2002, « A survey of definitions of n -category », *Theory and Applications of Categories*, 10, p. 1-70.

- LONGO (Giuseppe), 1998, « Mathematics and the biological phenomena », in *Proceedings of the International Symposium on Foundations in Mathematics and Biology. Problems, prospects and interactions*, invited lecture, Pontifical Lateran University, Vatican City, to appear.
- LONGO (G.), 2001, « The reasonable effectiveness of mathematics and its cognitive roots », in BOI (Luciano), ed., *New interactions of mathematics with natural sciences and the humanities*, Berlin-New York, Springer, to appear.
- MONTANARI (Ugo), 2003*, Publications web page, <<http://www.di.unipi.it/ugo/ugo.html>>.
- PETRI (Carl Adam), 1973, « Concepts of net theory », in *Mathematical Foundations of Computer Science*, Proceedings of Symposium and Summer School, Mathematical Institute of the Slovak Academy of Sciences, 3-8 Sept. 1973, High Tatras, Czechoslovakia, p. 137-146.
- PORTER (Timothy), 1994, « Categorical shape theory as a formal language for pattern recognition », *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 10, p. 25-54.
- PRATT (Vaughan), 2003*, Guide to Papers on Chu Spaces, <<http://chu.stanford.edu/guide.html>>.
- STREET (Ross), 1996, « Categorical structures », in HAZEWINDEL (Michiel), ed., *Handbook of algebra*, Amsterdam-Oxford, Elsevier, vol. I, p. 529-577.
- WIGNER (Eugene Paul), 1991, « The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences », 1st ed. 1960, *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13, p. 1-14, here repr. in FERRIS and FADIMAN, 1991, p. 526-540.

UNE VIE DE CELLULE FORME ET ESPACE

René MISSLIN

RÉSUMÉ : La « théorie cellulaire », élaborée au XIX^e siècle sous l'impulsion, entre autres chercheurs, de Lorenz Oken, Matthias Schleiden, Theodor Schwann et Rudolf Virchow, a profondément modifié la vision que l'Homme se faisait jusque-là de la vie, puisqu'elle affirmait que la cellule est l'unité organique constitutive de tous les êtres vivants et que tout être vivant est issu d'une cellule. L'observation d'un unicellulaire comme la paramécie montre, en effet, qu'une cellule doit être considérée comme une forme vivante intégrale puisqu'en se nourrissant, en se développant, en se défendant et en se reproduisant elle manifeste le destin commun à tous les êtres vivants. Son espace vital, engendré par ses déplacements, est coextensif à ses besoins et donc à ses comportements.

MOTS-CLÉS : paramécie, cellule, forme, comportements, espace vital, renaissance.

ABSTRACT : The « cellular theory », elaborated during the 19th century by researchers such as Lorenz Oken, Matthias Schleiden, Theodor Schwann and Rudolf Virchow, greatly modified the conception of life that Man had had up to then, since it asserted that the cell is the basic organic unit of all living beings and that every living being stems from a cell. Indeed, the study of the unicellular paramecium shows that a cell must be considered as a complete living form insofar as it illustrates by feeding, growing, defending and reproducing the general fate of all living creatures. Its living-space, generated by its movements, is relative to its needs and therefore to its behaviour.

KEYWORDS : paramecium, cell, form, behaviour, living-space, rebirth.

ZUSAMMENFASSUNG : Die Zelltheorie, die im 19. Jahrhundert vor allem von Lorenz Oken, Matthias Schleiden, Theodor Schwann und Rudolf Virchow entwickelt worden ist, hat die Vorstellungen vom Wesen des Lebens nachhaltig verändert. Nach dieser Theorie ist die Zelle der Grundbaustein aller Lebewesen, und jedes Lebewesen ist aus einer Zelle hervorgegangen. Die Beobachtung eines Einzellers wie z. B. des Parameciums zeigt in der Tat, daß eine Zelle als ein komplettes lebendes System angesehen werden muß, denn da sie sich ernährt, entwickelt, verteidigt und fortpflanzt, besitzt sie sämtliche Merkmale eines Lebewesens. Ihr durch ihre Bewegung vorgegebener Lebensraum entspricht ihren Bedürfnissen und ihrem Verhalten.

STICHWÖRTER : Paramecium, Zelle, Gestalt, Verhalten, Lebensraum, Wiedergeburt.

RIASSUNTO : La « Teoria cellulare », elaborata nel diciannovesimo secolo sotto l'impulso, tra i vari ricercatori, di Lorenz Oken, Matthias Schleiden, Theodor Schwann e Rudolf Virchow, ha modificato profondamente la visione che l'uomo si era fatto fino ad allora della vita, perché ha affermato che la cellula è l'unità organica costitutiva di tutti gli esseri viventi e che tutti i viventi si sono sviluppati da una cellula. L'osservazione di un unicellulare come il paramecio mostra, in effetti, che una cellula deve essere considerata come una forma vivente integrale poiché nutrendosi, sviluppandosi, difendendosi e riproducendosi, essa manifesta il destino comune a tutti gli esseri viventi. Il suo spazio vitale, generato dai suoi spostamenti, è coestensivo ai suoi bisogni e dunque ai suoi comportamenti.

PAROLE CHIAVE : paramecio, cellula, forma, comportamento, spazio vitale, rinascita.

René MISSLIN, né en 1934, est professeur émérite de l'université Louis Pasteur de Strasbourg. La pharmacologie comportementale chez la souris constitue son domaine de recherche. Il a soutenu sa thèse « Contribution neuroéthologique à l'étude des conduites néotiques chez la souris », en 1983. Il s'intéresse plus particulièrement à la définition des réseaux neuronaux impliqués dans l'expression du comportement de peur chez la souris.

Adresse : Faculté de psychologie, Université Louis Pasteur, 7 rue de l'Université, F-67000 Strasbourg.

Courrier électronique : rene@misslin.com

Quand on s'aperçoit que l'on croyait encore à la fin du XVIII^e siècle à la génération spontanée et que c'est seulement au début du XIX^e, il y a à peine deux siècles, que l'entomologiste allemand Lorenz Oken avance l'idée, alors singulière, que les organismes sont composés de cellules et naissent de cellules, d'où son adage « *omne vivum e vivo* », on peut être saisi d'un léger vertige en songeant qu'il aura fallu à l'humanité à peu près cent mille ans, puisque c'est l'âge que l'on attribue à *Homo sapiens sapiens*, pour découvrir, n'ayons pas peur des mots, l'origine de toute forme vivante. Encore faut-il ajouter que la version quasi définitive de ce qu'il est convenu aujourd'hui d'appeler la théorie cellulaire ne verra le jour que vers le milieu du XIX^e siècle quand Rudolf Virchow transforme la formule d'Oken en : « *omnis cellula e cellula* ». L'édifice s'achève un quart de siècle plus tard avec une dernière sentence : « *omnis nucleus e nucleo* ». Les trois axiomes qui forment la théorie n'en font à vrai dire qu'un seul, car lors d'une reproduction cellulaire, c'est le noyau qui d'abord se divise, puis la cellule, mais en se reproduisant la cellule reproduit la vie. Peut-être la vie ne s'est-elle inventée qu'une seule fois : elle se perpétue par le mécanisme de la reproduction. Le fait que tous les êtres vivants, uni et pluricellulaires, naissent d'une cellule montre qu'en dépit du foisonnement évolutif des espèces, la vie a conservé depuis plus de trois milliards d'années l'unité fonctionnelle de base pour se reproduire, se développer et se différencier ; la cellule. Mais en faisant de la cellule l'unité vitale par excellence, Virchow avait conscience que la théorie cellulaire « impliquait une violente remise en cause » de la philosophie moderne, celle de René Descartes, comme l'écrit Barbara Stiegler¹. Or, le point central de cette philosophie, c'est l'existence d'un *ego* mental, immatériel et conscient qui dispense à l'être humain la certitude de son unité. En proposant de faire de la cellule « le seul point de départ possible de toute doctrine biologique² », puisque cette forme élémentaire traverse tout le règne vivant, Stiegler montre que Virchow révèle le caractère fantomatique de toute entité mentale et l'illusion de l'unité subjective qu'elle fait naître. La cellule est une unité par elle-même, en tant que totalité fonctionnelle organique. Mais, il y a plus. En faisant de la cellule l'unité de base, celle-là même qui recèle dans sa constitution la mémoire du phénomène vivant dans son ensemble, l'unité des organismes pluricellulaires, celle en particulier de l'être humain, n'apparaît plus comme une unité distincte et supracellulaire, mais seulement comme un cas particulier du développement cellulaire. Il n'est pas sûr que notre culture ait assimilé, en profondeur, la

1. STIEGLER, 2001, p. 22-23.

2. STIEGLER, 2001, p. 27.

vision que la théorie cellulaire a commencé à promouvoir il y a plus d'un siècle maintenant. Pour preuve, on peut citer l'évolution de la psychologie au XX^e siècle. Le courant behavioriste, illustré en particulier par John Watson et Burrhus Skinner, a tenté de surmonter les difficultés inhérentes au mentalisme de la psychologie traditionnelle, issu du dualisme platonicien et revigoré par Descartes, en préconisant de limiter les observations au comportement des êtres vivants ; la seule voie qui paraissait possible pour donner à la psychologie une chance de devenir une science. Il a eu un succès important durant plusieurs décennies. Mais le mentalisme semble avoir la vie dure puisqu'il a resurgi il y a environ trente ans avec le courant cognitiviste : loin de se limiter à la relation *stimulus*/réponse préconisée par les behavioristes, la psychologie cognitive prétend que les êtres vivants ont des représentations ou des images mentales qui déterminent, de manière causale, les comportements. La forme actuelle du mentalisme, il est vrai, n'est pas un retour pur et simple à la tradition dualiste. D'un point de vue philosophique, les cognitivistes se réclament souvent du monisme matérialiste antique (Démocrite, Épicure, Lucrèce) selon lequel il n'existe qu'une seule substance, la matière, composée d'atomes. Ils sauvent cependant les fonctions dites mentales, héritées de la tradition dualiste, en considérant que ces fonctions sont des propriétés émergentes du fonctionnement matériel du cerveau. On comprend le sentiment de ceux qui ont l'impression d'assister ici à une sorte de tour de prestidigitation, le lapin, en l'occurrence les fonctions mentales, surgissant on ne sait comment du « chapeau-cerveau ». Comment ne pas éprouver de la perplexité quand on essaie de s'orienter dans un paysage aussi paradoxal où s'entremêlent, de manière inextricable, des croyances séculaires, à caractères mythique et métaphysique évidents, et des approches qui se veulent scientifiques et objectives ? Quelle cohérence y a-t-il à attribuer à des insectes, des rongeurs ou des primates humains et non humains l'aptitude de former des représentations mentales quand, en même temps, on se réclame du matérialisme antique qui dénonçait, en son temps, avec vigueur et cohérence, l'illusion qui consiste à ajouter à l'organisme matériel une âme pneumatique puisqu'aux yeux de ces philosophes toute forme réelle était constituée d'atomes et de rien d'autre ? Plus fondamentalement, on peut remarquer à quel point notre société est imprégnée de philosophie dualiste : nous avons les thérapeutes qui soignent notre corps, d'autres qui s'occupent de notre psychisme. Non seulement les progrès de la médecine et de la biologie n'ont pas réussi à rapprocher ces pratiques, mais on a même vu se produire en 1970 une scission entre la neurologie et la psychiatrie, alors qu'à la même date, on soignait déjà depuis vingt ans les personnes schizophrènes avec des substances neurotropes, c'est-à-dire des molécules qui modifient le fonctionnement du système nerveux. Chose impensable, on a fini par appeler ces médicaments des psychotropes ! Certains pratiquent la médecine psychosomatique en soignant des troubles physiques dont l'étiologie serait psychique. Sigmund Freud pensait que les personnes souffrant d'hystérie

exprimaient par leur corps des tourments mentaux inconscients, car refoulés, et comme la théorie freudienne a beaucoup plu, on parle couramment maintenant de somatisation. Il est vrai que Freud trouvait tout cela fort énigmatique puisqu'il parlait du saut mystérieux de la psyché dans le soma. Mais même Descartes s'étonnait de cet étrange dualisme d'après lequel le corps est un automate matériel, l'âme une chose qui pense. Il note que l'âme n'est pas dans le corps ainsi qu'un pilote dans un navire, car :

« Lorsque mon corps est blessé, je ne sentirais pas pour cela de la douleur, moi qui ne suis qu'une chose qui pense, mais j'apercevrais cette blessure par le seul entendement, comme un pilote aperçoit par la vue si quelque chose se rompt en son vaisseau³. »

Ainsi, c'est l'épreuve affective de la douleur qui le réveille de son songe dogmatique et qui le contraint à reconnaître l'unité organique de l'être humain. Aussi fera-t-il à la princesse Élisabeth cet étonnant aveu : il convient « en usant seulement de la vie et des conversations ordinaires et en s'abstenant de méditer et d'étudier aux choses qui exercent l'imagination qu'on apprend à concevoir l'union de l'âme et du corps⁴ ». On ne saurait donner meilleur conseil pour échapper aux sortilèges du dualisme.

Rien n'est plus instructif, pour saisir sur le vif à quel point une cellule est un organisme vivant, que d'étudier la structure et le comportement d'un unicellaire tel que la paramécie. C'est un hôte familier des eaux douces dans lesquelles elle nage gracieusement en se propulsant au moyen de ses 2 500 cils qui tapissent sa membrane plasmique appelée pellicule. La forme bien définie de l'animalcule, dont la taille ne dépasse pas 0,3 mm, est hydrodynamique, ce qui lui permet de fendre la résistance de l'eau grâce aux mouvements des cils qui l'animent comme une vrille. Il convient de bien souligner que la forme est l'aspect superficiel qui fait partie intégrante de la structure de l'animalcule. Cette structure est définie par un cytosquelette comprenant plus particulièrement des microtubules et des filaments d'actine. Les microtubules se disposent en une configuration rayonnante à partir de la région péricentriolaire. Le cytosquelette assure trois fonctions importantes : il maintient la forme de la cellule, il en assure les mouvements et il permet les transports moléculaires internes. Longtemps, on a ignoré la présence de cette structure, l'attention des chercheurs s'étant d'abord portée sur le noyau et les organites cytoplasmiques telles les mitochondries. Mais il est clair aujourd'hui que le cytosquelette porte bien son nom : il préfigure l'ossature squeletto-musculaire des vertébrés. Cette ossature, qui définit la forme des êtres vivants, est une des caractéristiques fondamentales des organismes. Aristote y était éminemment sensible parce

3. DESCARTES, 1996, p. 92.

4. DESCARTES, 1996, p. 152.

qu'elle lui apparaissait comme le symbole même de l'âme, c'est-à-dire, dans son langage, celui d'un ordre dynamique, vivant en un mot. Le vitalisme aristotélicien sera perdu pour des siècles au bénéfice de l'intellectualisme platonicien. Pour survivre, la paramécie, à l'instar de tous les êtres vivants, prélève dans son environnement des éléments énergétiques sous la forme de microscopiques algues qu'elle capture avec ses cils, avale et digère pour synthétiser la forme de l'énergie cellulaire immédiatement disponible, commune à toutes les formes vivantes : l'adénosine 5'-triphosphate ou ATP. Or, pour attraper ses proies, la paramécie émet des mouvements orientés en direction des algues qu'elle détecte au moyen de certains des cils à compétence sensitive. De pareils mouvements constituent ce qu'en éthologie on appelle des comportements. Tout comportement résulte de la mise en jeu de l'intégration sensorimotrice au niveau le plus global d'un organisme. De façon schématique, on peut dire qu'un comportement s'effectue selon l'une des deux modalités affectives communes à tous les êtres vivants : appétitive ou aversive. Les comportements d'appétition les plus courants sont les comportements alimentaires, sexuels, parentaux, territoriaux et sociaux. Les comportements aversifs sont ceux qui permettent aux êtres vivants de se défendre contre tous les facteurs environnementaux susceptibles de menacer leur intégrité : l'évitement, la fuite et la contre-attaque. Outre le comportement alimentaire, une paramécie est capable d'émettre à l'occasion le comportement appétitif sexuel. On sait que la vie, pour se pérenniser, n'a pas pu immortaliser les individus, mais dispose de deux processus pour conserver l'espèce : la division des cellules, ou reproduction asexuée, et l'union de deux cellules, ou reproduction sexuée. De nombreuses espèces unicellulaires possèdent les deux modes de reproduction et les exécutent alternativement. Quand une paramécie se reproduit selon le mode sexuel, elle exprime un comportement élaboré appelé conjugaison. Au cours de cette étrange parade sexuelle, deux paramécies fusionnent au niveau de leurs ouvertures buccales ou péristomes. Elles échangent par ce moyen l'un des deux noyaux haploïdes (noyaux à un jeu de chromosomes) issus d'une méiose ou division d'un noyau diploïde (noyau à deux jeux de chromosomes). Comme les noyaux contiennent le matériel génétique, on en conclut que les deux paramécies, comme cela se fait au cours de toute forme de reproduction sexuée, échangent les gènes situés sur la molécule d'acide désoxyribonucléique (ADN). En fait, la conjugaison n'est pas à proprement parler un mode de reproduction puisque les deux paramécies ne se divisent pas immédiatement après l'échange des noyaux. Cependant, quand elles se scinderont ultérieurement selon le mode de division nucléaire appelé mitose, elles transmettront aux cellules filles l'ensemble de leur matériel génétique, en particulier le noyau diploïde qui se sera recomposé à la suite de la conjugaison précédente. Le résultat d'une conjugaison, au niveau du brassage du matériel génétique, est comparable à ce qui se passe lors d'une fécondation. Enfin, la paramécie, comme tout vivant, est confrontée à un environnement qui

peut se révéler dangereux puisqu'il comporte, entre autres menaces, des prédateurs. L'ennemi de la paramécie est un autre unicellulaire cilié qui porte le nom de *didinium*. Elle est capable de lui échapper en exprimant le comportement de défense le plus universel, à savoir la fuite. Celle-ci s'accompagne d'une sorte d'explosion qui permet à la paramécie d'émettre des dizaines de bâtonnets appelés trichocystes qui tapissent la paroi interne de sa membrane : ils ressemblent, agrandis par le microscope, à de véritables lances qui se terminent par une pointe acérée. Souvent, la paramécie présente le comportement défensif sous une forme atténuée, évitant certaines stimulations aversives : des obstacles mécaniques, une température de l'eau trop élevée, un milieu concentré en oxygène ou en gaz carbonique ou encore trop acide. Dans ces cas, elle arrête ses mouvements d'exploration, recule ou change de direction. Ainsi, une paramécie naît, se nourrit, se développe, se défend et se reproduit comme n'importe quel autre être vivant. Comment un unicellulaire, dépourvu de système nerveux, peut-il accomplir des activités coordonnées, adaptatives et « intelligentes » comme le sont les comportements ?

On admet aujourd'hui que le rôle d'intégration sensorimotrice dans la genèse des comportements, dévolu chez les pluricellulaires au système nerveux, est assuré chez les unicellulaires par des circuits de protéines. La reconnaissance de la fonction d'intégration des protéines chez les unicellulaires a été facilitée par la compréhension de la régulation enzymatique, en général, et des processus d'amplification des signaux lors des phénomènes de transduction. On sait que les vitesses des réactions dans une chaîne métabolique dépendent de la quantité d'enzymes synthétisée par une cellule. Or, comme les enzymes sont des protéines, l'activité enzymatique dépend du niveau d'expression des gènes, puisque c'est l'agencement des nucléotides sur les gènes qui détermine la structure primaire en acides aminés des protéines. Un exemple classique de la forme en cascade des réactions métaboliques est la production de glucose par phosphorylation de sa molécule de stockage, le glycogène hépatique ou musculaire. La réaction initiale se déclenche lorsque la molécule d'adrénaline se lie à une protéine réceptrice située dans la membrane plasmique des cellules hépatiques ou musculaires. L'extrémité intracellulaire du récepteur comprend des sites de liaison à d'autres protéines appelées protéines G. Quand le ligand externe se fixe sur la protéine, cela déclenche une série de phosphorylations qui activent des milliers de kinases lesquelles, l'instant suivant, catalysent des milliers de molécules de glycogène phosphorylases, ce qui provoque une brutale libération de glucose dont la catalyse fournit de l'ATP.

Cet exemple permet de tirer plusieurs leçons. Ces réactions biochimiques s'effectuent à des vitesses inférieures à la seconde. Par ailleurs, alors même que le signal de départ est faible, les réactions en chaînes qui résultent de la liaison du ligand externe à son récepteur amplifient de façon remarquable le signal initial au point que les réactions terminales peuvent être foudroyantes

comme c'est le cas dans la libération du glucose. Il arrive souvent que la phase terminale d'une transduction se situe au niveau du génome et qu'elle aboutisse à la transcription, puis à la traduction d'un gène, enfin à la synthèse d'une protéine. Les processus de transduction sont universels. Sachant qu'une cellule possède sur sa membrane plasmique plusieurs centaines de récepteurs protéiques et dans son cytoplasme des dizaines d'espèces de protéines G et des centaines de protéines kinases, l'ensemble de ces éléments contrôlant l'activité de milliers de protéines cibles, on peut se faire une idée au moins générale de la capacité des protéines à assumer de multiples fonctions cellulaires à des vitesses qui défient l'entendement. Ces milliers de réactions en chaîne reposent sur la capacité des protéines à interagir les unes avec les autres. Par exemple, le produit d'une réaction catalysée par une enzyme peut devenir le substrat d'une autre enzyme et ainsi de suite. Du fait de cette interconnection réactive, sa mise en jeu aboutit à la réalisation de circuits moléculaires qui, du point de vue fonctionnel, ressemblent étrangement à des réseaux neuronaux. Les mécanismes moléculaires impliqués dans le traitement des informations qui assurent le fonctionnement des unicellulaires préfigurent indéniablement les mécanismes nerveux des métazoaires. Ce qu'il faut bien comprendre, c'est que cette auto-organisation est rendue possible par le caractère hétérogène du milieu cellulaire interne. On avait longtemps imaginé que le cytoplasme était une espèce de milieu visqueux homogène, et tant que cette image avait été vivace, il n'était pas même envisageable qu'on pût jamais concevoir qu'une cellule était un organisme vivant à l'instar d'un métazoaire. Or, on sait aujourd'hui que la cellule ne possède pas seulement une forme externe, mais que l'intérieur est également structuré de manière incroyablement dense et complexe grâce à la présence de multiples organites qui constituent des compartiments clos délimités par des membranes semi-perméables : réticulum, appareil de Golgi, mitochondries, sans parler des innombrables structures filamenteuses. La présence des membranes est fondamentale puisque, comme la membrane plasmique, elles déterminent des zones d'échanges, des interfaces dynamiques qui forment de véritables réseaux fonctionnels « informatifs ». On a tendance à sublimer la membrane nucléaire sous prétexte qu'elle assure les échanges génome/cytoplasme. Mais, il ne faut privilégier ici aucun de ces sous-systèmes, car chacun contribue à sa façon à la synthèse de molécules, à leur éventuel stockage et à la dynamique des échanges intracellulaires. Encore une fois, nous retrouvons aussi à ce niveau le concept de formes : le principe fondamental de ces formes organiques est bien de générer les flux informatifs qui constituent les différentes fonctions de la cellule selon un mode immanent et d'assurer par-là la coordination des constituants de l'organisation interne.

Bien qu'aucun formalisme mathématique ni aucun programme informatique ne soit, actuellement, en mesure de modéliser les innombrables réactions moléculaires impliquées dans le fonctionnement d'une cellule, on doit s'appuyer sur quelques systèmes réactionnels connus pour tenter d'imaginer la vie de

l'ensemble. On sait que les cils sont les organes moteurs de la paramécie et que leurs battements sont assurés par un mécanisme situé dans ces organes mêmes et activé par l'ATP. Cependant, bien que les mouvements ciliaires soient réalisés de façon autogène grâce au glissement des microtubules les uns par rapport aux autres, on admet que le battement synchrone des cils est obtenu au moyen des signaux moléculaires émis et transmis par la membrane plasmique au réseau complexe de fibres qui relie les cils entre eux au niveau de leur région d'implantation. Enfin, comme les cils servent, entre autres, aux déplacements de la paramécie, on doit supposer que les variations des mouvements de cils au cours des activités d'approche, d'évitement, de recul, de réorientation sont contrôlées par un système de coordination global capable d'intégrer les signaux d'entrée, de les traiter, en les amplifiant, et de produire les conduites adaptées aux circonstances externes et à l'état interne de l'animalcule. Certains chercheurs présument que l'effet des stimulations de l'environnement sur la concentration et l'activité des milliers de protéines de la cellule peut se prolonger bien au-delà des réactions métaboliques sous la forme de « traces mnésiques » susceptibles de faciliter le déclenchement de ces réactions lors des prochaines confrontations de l'organisme avec des stimulations environnementales analogues.

En nous efforçant, autant que possible, de ne faire appel qu'à des entités strictement nécessaires pour tenter de comprendre le fonctionnement de la paramécie, nous n'avons eu recours à aucun moment au concept de programme génétique pourtant largement utilisé en biologie et même au-delà. Lorsque l'on veut signifier aujourd'hui que tel ou tel trait est hérité, on dit couramment qu'il est génétiquement programmé. Henri Atlan⁵ a noté que l'expression programme génétique était initialement utilisée avec des guillemets, ce qui avait l'avantage d'en souligner le caractère métaphorique. Puis, cette expression imagée, importée du langage informatique, a fini par prendre une consistance remarquable jusqu'à se fossiliser en un véritable dogme : elle désigne l'ensemble des processus par lesquels les algorithmes du génome sont censés diriger, telle une équipe de pilotage, le développement des organismes, le métabolisme cellulaire et, aux yeux de certains, le comportement, tout cela selon les règles de l'espèce dont ils constitueraient la mémoire héréditaire. Ce glissement sémantique adopté massivement fait irrésistiblement penser à une réflexion de Ludwig Wittgenstein : « Philosopher, dans le sens où nous employons ce terme, c'est d'abord lutter contre la fascination qu'exercent sur nous certaines formes d'expression⁶. » Philosophons donc.

Précisons que, dans ce qui suit, il ne s'agit en aucun cas de minimiser ou d'escamoter la fonction des gènes. Il est incontestable que leur découverte a

5. ATLAN, 2000, p. 8.

6. WITTEGENSTEIN, 1965, p. 84.

été un des plus beaux moments de l'histoire de la biologie. Ce qui est en cause, c'est l'usage que l'on a fini par faire de la métaphore de programme génétique. Comment se fait-il que la macromolécule d'ADN, aussi prestigieuse soit-elle, s'est vu attribuer le rôle écrasant de détenir les secrets mêmes de la vie ? Sans doute la réponse à cette question se situe-t-elle à notre niveau bien plus qu'à celui de l'ADN. L'histoire des Hommes montre que toutes les cultures, à toutes les époques, engendrent ce que nous appelons, depuis les philosophes ioniens du VI^e siècle avant J.-C., des mythes (*muthoi*) dont le rôle est de fournir, à travers des récits, une explication du monde, des êtres et des Hommes. Le caractère universel et récurrent de ce comportement que l'on pourrait appeler, avec un grain de sel, « mythogène » correspond sans doute à l'expression d'un besoin apparemment robuste, celui d'avoir à notre disposition des vade-mecum nous permettant de nous orienter dans notre vie, de réduire le degré de notre incertitude et par là-même celui de notre anxiété existentielle.

Ce qui est intéressant dans l'évolution de notre culture occidentale, c'est que nous avons imité, depuis la Renaissance, les penseurs ioniens du VI^e siècle avant notre ère qui étaient fiers d'avoir révélé le caractère mythique de leurs croyances traditionnelles et de pouvoir surmonter les aspects légendaires des mythes en adoptant une posture rationnelle et naturaliste, « physique » comme on disait alors, du nom de *phusis* que l'on traduit habituellement par nature. Le passage du *muthos* au *logos* a été ressenti par ces penseurs comme une conquête de l'intelligence humaine. On ne discutera pas ici du bien-fondé ou non de ce sentiment. L'usage que nous faisons de la métaphore de programme génétique révèle qu'elle fonctionne moins comme une entité « logique » que comme une image mythique, même, et peut-être surtout, parce que son allure est technique. Alors que la biologie est loin de pouvoir « modéliser » de façon satisfaisante le fonctionnement d'une cellule, en raison de la multiplicité vertigineuse des processus dont elle est le siège, la notion de programme génétique vient heureusement remplir les interstices du tissu creux de nos savoirs positifs. Il n'est pas question, encore une fois, de dénigrer qui que ce soit. L'activité scientifique ressemble à une forme sophistiquée du comportement d'exploration qui, pour sa part, est commun au monde animal ; or ce comportement adopte le plus souvent ce qu'on appelle la démarche par essais et erreurs. Il peut sembler judicieux d'utiliser ici la notion d'erreur dans son sens originel tant il est vrai que la recherche scientifique, comme toute recherche, n'échappe pas à l'errance, aux tâtonnements, aux croyances, voire à certaines illusions. La croyance à la rupture radicale entre la posture mythologisante et la posture rationalisante correspond plus à notre besoin de nous donner du courage pour avancer qu'à ce qui se passe en réalité. Les hommes ont sans doute toujours eu recours aux deux postures, c'est nous qui nous imaginons qu'en accordant du crédit aux mythes on est forcément incapable de rationalisation. L'image du programme génétique a été un facteur étonnamment dynamique pour la recherche. Or, il se trouve que ce sont justement les fruits de la recherche

qu'elle a suscitée qui montrent aujourd'hui les limites heuristiques de cette image. Cela se traduit actuellement par le fait que les biologistes ont tendance à moins parler de génome et utilisent de plus en plus le concept de protéome, ce néologisme définissant l'ensemble des protéines contenues dans une cellule. Atlan⁷ avait déjà eu l'occasion de signaler à quel point la notion de programme génétique n'était pas très heureuse dans la mesure où la molécule d'ADN, en raison de sa structure fixe, inerte et statique, ne lui paraissait pas de nature à assumer l'écrasant rôle de chef d'orchestre de la machinerie cellulaire parcourue incessamment d'une multitude inouïe de flux moléculaires. Il avait suggéré que les protéines lui semblaient des candidats autrement plus probables pour remplir les fonctions dynamiques de la vie, en raison de leur extrême mobilité, de leur flexibilité et de leur réactivité. C'est ce que semblent bien confirmer les chercheurs qui considèrent que ce sont les protéines qui, chez les unicellulaires, jouent le rôle d'intégration sensorimotrice. Mais sans doute convient-il de ne pas retomber une fois de plus dans l'erreur de privilégier certains éléments de la cellule par rapport à d'autres. Le point de vue holistique selon lequel une cellule est un organisme vivant est préférable à n'importe quel point de vue réducteur. Du reste, puisque la théorie cellulaire affirme qu'une cellule est un être vivant et que toute cellule provient d'une autre, cela ne signifie-t-il pas que ce qui se transmet d'une génération à l'autre, c'est bien une totalité vivante ? La question ne se pose plus aujourd'hui en termes de choix entre une vision vitaliste et une option mécaniste, comme cela a pu être le cas à un moment donné de l'histoire de la biologie. La découverte des mécanismes de régulation des gènes par des protéines avait montré qu'une cellule est un système d'autorégulation qui fonctionne grâce à l'interaction permanente des composantes que l'analyse nous permet d'individualiser, mais dont les fonctions n'ont de sens que rapportées au fonctionnement global.

Sans doute nous heurtons-nous ici à ce que les philosophes appellent notre finitude. Notre intuition du vivant nous donne le sentiment que les organismes sont des individualités agissantes, non des sacs de molécules. Nos techniques d'investigation, elles, reposent sur l'analyse et nous fournissent des éléments, non un fonctionnement d'ensemble. Celui-ci, nous ne pouvons que tenter de le reconstruire après coup, sous forme de modèles. Mais nous sentons bien que nos modèles sont des artefacts, dans le sens étymologique du mot, des œuvres de notre art. Georges Canguilhem a exprimé ce sentiment d'une manière à la fois remarquable et drôle :

« Connaître c'est analyser [...]. Il est normal qu'une analyse ne puisse jamais rendre compte d'une formation et qu'on perde de vue l'originalité des formes quand on n'y voit que des résultats dont on cherche à déterminer les

7. ATLAN, 2000, p. 13.

composantes. Les formes vivantes étant des totalités dont le sens réside dans leur tendance à se réaliser comme telles au cours de leur confrontation avec leur milieu, elles peuvent être saisies dans une vision, jamais dans une division [...]. Nous soupçonnons que, pour faire des mathématiques, il nous suffirait d'être anges, mais pour faire de la biologie, même avec l'aide de l'intelligence, nous avons besoin parfois de nous sentir bêtes⁸. »

Quel scientifique voudrait passer pour un visionnaire ?

Quand nous voyons nager une paramécie, nous n'avons aucune peine à l'identifier, naïvement, comme un être vivant. Les données de la biologie nous ont permis de confirmer cette intuition en découvrant la complexité anatomique et fonctionnelle de cet unicellulaire. Comme tous les animaux, elle a une individualité définie par sa forme, son monde, son comportement et son mode de reproduction. Sa complexité fonctionnelle n'est pas moins redoutable à appréhender que celle de n'importe quel autre être vivant. Le passage de l'état protozoaire à l'état métazoaire s'est certes accompagné d'innovations structurales et fonctionnelles considérables, mais il n'est pas certain du tout que le qualificatif de « supérieur » qui est souvent utilisé pour désigner des animaux « neuronaux » par rapport à ceux dépourvus de système nerveux corresponde à autre chose qu'à une vue assez superficielle, surtout si l'on se rappelle que le système nerveux lui-même est constitué de cellules. Quand on réalise qu'un unicellulaire comme la paramécie manifeste, à son niveau de complexité, le destin général de tous les êtres vivants, à savoir survivre assez longtemps pour renaître en reproduisant la mémoire vitale de son espèce, on ne peut pas s'empêcher de se demander si notre destin humain est si différent, *mutatis mutandis*, de celui d'une paramécie. La vie a certes multiplié à l'infini ses formes d'existence. Mais comment résister au sentiment que ce sont là de géniales variations sur un thème unique, celui de la renaissance ? Friedrich Nietzsche a exprimé cela à sa façon : « Pour comprendre la nature de la vie organique, il faut éviter d'en prendre la forme la plus réduite pour la forme la plus primitive ; au contraire, la plus petite cellule est à présent l'héritière de tout le passé organique⁹. »

À bien y réfléchir, c'est cette auto-organisation à la fois structurelle et fonctionnelle que toutes les formes de dualisme ont du mal à percevoir, sans doute en partie parce que nous avons souvent spontanément recours, pour décrire la réalité des êtres et des choses, à des modèles fonctionnels tirés de nos pratiques. Or, qu'enseignent nos arts et nos techniques sinon que tout objet fabriqué nécessite un fabricant. Mais, dans le cas de la genèse d'un être vivant, il n'y a pas de fabricant, pas plus que dans l'exécution d'un comportement on n'a besoin d'une entité pilote – âme, esprit, psyché, volonté – dont le rôle serait

8. CANGUILHEM, 1998, p. 11.

9. NIETZSCHE, 1995, p. 251.

d'animer, de diriger, de déclencher les réponses motrices de l'organisme, à partir d'une position centrale. C'est en luttant contre la tendance à introduire dans un organisme vivant une instance directrice, qui est la source même de toutes les formes de dualisme, que Virchow en arriva à proposer le point de vue organiciste selon lequel un être vivant fonctionne comme un tout. La cellule isolée et autonome s'imposera à lui comme le paradigme de l'organisme vivant qui effectue les fonctions vitales, sans conscience, grâce à l'unité coordonnée que définit le fonctionnement même de sa structure. C'est l'organisme qui se développe et se détermine par lui-même. Cela ne signifie pas qu'il s'agit d'un système clos, mais qu'il fonctionne selon les règles immanentes à sa constitution à laquelle il s'identifie absolument. Ses multiples dépendances à l'égard de l'environnement n'empêchent pas sa radicale individualité. Ce qui est remarquable, et seuls les progrès de la biologie ont permis cette prise de conscience, c'est que cette individualité organique est d'une complexité telle que malgré les progrès accomplis, le fonctionnement d'un unicellulaire représente encore aujourd'hui un défi à notre compréhension.

Qu'une paramécie soit capable de produire des réponses appropriées par rapport à certaines stimulations de l'environnement suggère l'existence d'une continuité qui s'établit entre des événements situés à trois niveaux : la réception de signaux à la périphérie, leur transformation par des processus internes aboutissant à la mise en jeu des programmes moteurs d'effectuation et l'exécution des comportements orientés vers les sources environnementales déclenchantes. Comme le montre ce schéma, il s'agit d'une configuration qui intègre l'environnement, l'organisme et les séquences comportementales. Ces relations ne sont pas linéaires, fondées sur les principes du modèle empiriste *stimulus*/réponse (S/R). Le type de fonctionnement suggéré est plus proche d'un modèle en boucle quasi fermée qu'il serait assez vain de vouloir décrire selon le schéma causaliste classique où il suffirait de trouver des antécédents, ou causes, pour rendre compte des subséquents ou effets. En fait, ces boucles sont largement prédéterminées de manière phylogénétique et perfectionnées par des apprentissages ontogénétiques, c'est pourquoi ce que nous appelons environnement peut être conçu comme coextensif à l'organisme qui le spécifie. Les chercheurs qui ont le mieux saisi le caractère prédéterminé des relations d'un être vivant avec son milieu sont ceux qu'on appelle les phénoménologues existentiels comme le psychiatre d'origine autrichienne Erwin Straus, le physiologiste allemand Jacob von Uexküll et le psychologue hollandais Frédéric Buytendijk. Uexküll, par exemple, distinguait radicalement les aspects « objectifs » de l'environnement, inintéressants pour l'animal, des aspects « subjectifs », les seuls auxquels sa constitution le rend sensible. Pour illustrer ce propos, Uexküll a décrit le monde de la tique dans le passage suivant, devenu célèbre :

« Après s'être accouplée, la tique grimpe dans un buisson au sommet d'une brindille. Elle parvient à une hauteur d'où il lui sera possible de se laisser

tomber sur un petit mammifère ou de se laisser emporter par un mammifère plus gros qui se frottera au buisson. La tique aveugle est guidée vers son poste d'observation par la photosensibilité de sa peau. Cette voleuse des grands chemins aveugle et sourde reconnaît grâce à un odorat bien développé la proie qui s'approche. L'odeur de l'acide butyrique qui émane des glandes cutanées des mammifères agit sur elle comme le signal du départ. Elle s'élanche et si elle a atterri sur une surface chaude c'est qu'elle a atteint son but : l'animal à sang chaud. Il ne lui reste plus qu'à trouver un endroit dépourvu de poils. Des expériences utilisant des membranes artificielles et des fluides autres que le sang ont montré que la tique ne possède aucun sens du goût. Une fois la membrane perforée elle peut avaler n'importe quel liquide amené à la bonne température¹⁰. »

Quand son abdomen est rempli de sang, la tique peut mourir, car sa future progéniture a de quoi se nourrir et se développer. On sait qu'une tique peut attendre plusieurs années avant de rencontrer le stimulus de l'acide butyrique qu'elle est prédestinée à percevoir. Certes, le monde d'une tique peut nous paraître bien « pauvre », mais les limites intrinsèques de son appareil perceptif sont compensées par la précision du couplage monde/organisme. Nous avons tendance à concevoir notre « monde » en le figurant *more geometrico*, partiellement en raison du caractère dominant de la modalité visuelle propre à la plupart des primates. Mais, il faut bien se rendre compte que ce qu'intuitivement nous appelons espace est véritablement un prolongement perceptif de notre organisme conçu comme une forme à la fois conditionnée par la mémoire phylogénétique et déterminante. Or, comme l'évolution a engendré des formes innombrables, avec des organes sensorimoteurs et des besoins variés, il va de soi que chacune de ces formes détermine un espace idiosyncratique. La pluralité des mondes n'est pas une invention propre à la science-fiction ou aux imaginaires mathématiques. Ce sont, à la lettre, les mondes propres aux êtres vivants. De même que les organismes sont des « corps propres », pour employer une expression de Nietzsche, ou – pour parler comme Husserl – des « *Leibkörper* » que l'on pourrait traduire par corps de vie, de même il convient de parler d'espaces de vie au sens plein de ce terme : des espaces définis par la forme des êtres vivants, c'est-à-dire par leurs modes d'existence. De ce point de vue, un espace vital n'est pas foncièrement « une étendue indéfinie qui contient et entoure tous les objets », comme le définit *Le Petit Robert*. Les termes « étendue » et « objets » paraissent ici particulièrement égarants. Que pourrait bien signifier l'étendue du monde de la paramécie ? Ce serait en fait un espace anthropomorphique en ce sens que c'est nous qui concevons notre relation à notre monde selon le principe de la dichotomie sujet/objet. La dualité sujet/objet n'est sans doute pas autre chose que la vision

10. UEXKÜLL, 1956, p. 17.

propre à notre corps de vie. Mais, il est clair qu'en ce qui concerne la paramécie, parler d'étendue est en soi une application des plus trompeuses car elle nous conduit, automatiquement, en raison de nos contraintes grammaticales, dans le sens wittgensteinien, à concevoir la notion d'espace comme objective, absolue, universelle, abstraite en un mot. Mais pour un vivant, le monde n'est pas une abstraction, il est ce dont il a vitalement besoin. Cela explique probablement notre tendance à prêter aux autres formes vivantes notre propre mode de fonctionnement, en particulier notre capacité à conceptualiser les êtres et les choses. Sinon, comment en arriverait-on à l'idée que les animaux ont aussi des « représentations mentales » ? L'aphorisme suivant de Wittgenstein exprime de manière remarquable notre prédisposition à calquer la réalité sur nos modèles conceptuels : « On croit suivre sans cesse le cours de la nature, alors qu'on ne fait que longer la forme au travers de laquelle nous la contemplons¹¹. » La querelle des Universaux, au Moyen Âge, apparaît comme un des moments les plus importants dans l'histoire de la capacité des hommes à interroger leur mode de représentation, le langage. Il est bon de se rappeler que le formalisme langagier ne renvoie pas, en tant que tel, à des réalités, mais bel et bien à des fictions symboliques. Nietzsche a parfaitement repéré les dangers des glissades sémantiques :

« Soyons plus prudents que Descartes qui est resté pris au piège des mots [...]. Penser conformément à la définition des théoriciens de la connaissance, c'est une chose qui n'arrive jamais : c'est une fiction tout arbitraire [...], un arrangement artificiel destiné à rendre les faits intelligibles [...]. Notre plus vieux fonds métaphysique est celui dont nous nous débarrasserons en dernier lieu, à supposer que nous réussissions à nous en débarrasser – ce fond qui s'est incorporé à la langue et aux catégories grammaticales et s'est rendu à ce point indispensable qu'il semble que nous devrions cesser de penser, si nous renoncions à la métaphysique [...]. C'est par la croyance à la grammaire qu'on suppose des "choses" et leurs "activités", et nous voilà bien loin de la certitude immédiate¹². »

Pour tenter de comprendre la paramécie, il faut essayer de se mettre à sa place ! En raison des limites de sa compétence perceptive, son espace vital est celui qu'elle engendre en bougeant. Son espace, c'est proprement ses déplacements ; en d'autres mots, son espace est coextensif à ses comportements.

Bien qu'il ne s'agisse en aucune façon de nier le rôle de l'expérience au cours de l'ontogenèse, faire de celle-ci la clé de l'individuation, comme le voudrait un certain empirisme dont se réclamait, en particulier, le béhaviorisme, se heurte à ce fait massif mis précisément en évidence par la théorie cellulaire

11. WITTGENSTEIN, 1961, p. 165.

12. NIETZSCHE, 1995, p. 43.

à savoir que toute vie est, et ne peut être qu'une renaissance. Le zoologiste allemand, Ernst Haeckel, a été un des premiers à souligner cette évidence que toute forme vivante est essentiellement une mémoire vive. Il existe au moins deux façons de l'exprimer.

Tout d'abord, si l'on se réfère à ce qui frappa si fortement Virchow, à savoir que tous les êtres vivants naissent d'une cellule, même s'il faut insister sur l'extraordinaire variété des cellules, on peut néanmoins être sensible au fait que la cellule soit demeurée depuis l'origine la forme de référence du phénomène vivant. La conséquence qui en découle, c'est que la vie s'est montrée extrêmement conservatrice puisque le fonctionnement cellulaire, à la base des processus métaboliques et reproductifs de tous les organismes, repose sur des mécanismes qui présentent un extraordinaire degré de ressemblance fonctionnelle, qu'il s'agisse du traitement des signaux environnementaux par la membrane et de leur transduction intracellulaire, de la régulation enzymatique, de la chaîne respiratoire, du code génétique ou de la division cellulaire. Ce fait a tellement frappé le zoologiste allemand, William Rolph, qu'il s'est livré, à la fin du XIX^e siècle, à une étonnante méditation. Alors que l'on a tendance à considérer tout organisme vivant comme une individualité qui naît, se développe et meurt, pour Rolph, la mort est une illusion, car la vie lui apparaissait fondamentalement comme un phénomène continu, transindividuel – chaque individu n'étant qu'une renaissance du phénomène dont il est le support. Il ne niait bien sûr pas la mort, mais comme le montre Stiegler, elle était à ses yeux « un phénomène tardif et marginal, limité aux organismes complexes capables de disparaître sans laisser de descendance¹³ ». Pour une cellule, la division, qui donne naissance à deux cellules filles, ne conduit pas à une disparition, mais à une renaissance et à un accroissement de la vie.

Une autre façon de souligner avec force le rôle de la mémoire dans la continuité de la vie, c'est d'en faire le constat cette fois au niveau des espèces. L'apparition d'une nouvelle espèce introduit certes de la discontinuité, mais celle-ci n'est pas une rupture, puisque pour se maintenir dans son nouvel équilibre ponctué elle se reproduira selon les principes généraux de la division cellulaire. L'individuation, loin d'être la finalité de la tendance vitale, apparaît comme le moyen pour la vie non de naître et de mourir, mais de toujours renaître.

René MISSLIN
(novembre 2002).

13. STIEGLER, 2001, p. 80.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- ATLAN (Henri), 2000, « Information génétique », in *Encyclopaedia universalis*, Paris, Encyclopaedia universalis, CD-Rom pour PC, 6^e version.
- CANGUILHEM (Georges), 1998, *La Connaissance de la vie*, Paris, Vrin.
- DESCARTES (René), 1996, *Méditations métaphysiques*, Paris, Hachette.
- NIETZSCHE (Friedrich), 1995, *La Volonté de puissance*, Paris, Gallimard, t. I.
- STIEGLER (Barbara), 2001, *Nietzsche et la biologie*, Paris, Presses universitaires de France.
- UEXKÜLL (Jacob von), 1956, *Mondes animaux et monde humain*, Paris, Denoël.
- WITTGENSTEIN (Ludwig), 1961, *Investigations philosophiques*, Paris, Gallimard.
- WITTGENSTEIN (L.), 1965, *Le Cahier bleu et le cahier brun*, Paris, Gallimard.

LA GENÈSE DES CONCEPTS MATHÉMATIQUES

ENTRE SCIENCES DE LA COGNITION ET SCIENCES DE LA CULTURE

Jean LASSÈGUE

RÉSUMÉ : Au rebours du point de vue standard qui a tendance à écarter l'histoire et l'intersubjectivité quand il s'agit de cognition mathématique, l'article montre que seule cette prise en compte permet d'éviter certaines apories classiques touchant le statut de l'objectivité mathématique, en particulier le psychologisme et le relativisme. En prenant appui sur le cadre conceptuel élaboré par Ernst Cassirer sous le nom de « forme symbolique », l'article montre que régime fictionnel et régime objectif du sens doivent être placés sur un continuum et que seul le travail collectif des sujets sur leurs représentations permet de rendre compte du caractère fictionnel et du caractère scientifique des productions culturelles.

MOTS-CLÉS : cognition mathématique, objectivité mathématique, langage et mythe, métaphore, rationalité antique et rationalité moderne, Cassirer, Lakoff et Núñez, Cadiot et Visetti.

ABSTRACT : Counter to the standard viewpoint which tends to dismiss history and intersubjectivity when dealing with mathematical cognition, the article shows that taking them into account is the only way to overcome a certain number of aporias related to mathematical objectivity, especially psychologism and relativism. Resting upon the conceptual framework devised by Ernst Cassirer under the name « symbolic form », the article shows that the fictional and the scientific stance must be located along the same meaning continuum and that it is only the collective elaboration of individual representations which can account for cultural productions.

KEYWORDS : mathematical cognition, mathematical objectivity, language and myth, metaphor, ancient and modern rationality, Cassirer, Lakoff and Núñez, Cadiot and Visetti.

ZUSAMMENFASSUNG : Im Gegensatz zur traditionellen Sichtweise, die dazu neigt, im Zusammenhang mit der mathematischen Erkenntnis die Geschichte und die Intersubjektivität zu vernachlässigen, wird in diesem Artikel gezeigt, daß gewisse klassische Aporien, die den Status der mathematischen Objektivität betreffen (insbesondere der Psychologismus und der Relativismus), nur dann vermieden werden können, wenn man diese Gesichtspunkte ebenfalls berücksichtigt. Wir stützen uns auf den begrifflichen Rahmen, den Ernst Cassirer ausgearbeitet und als « symbolische Form » bezeichnet hat, und wir zeigen, daß die fiktionale und die objektive sinnliche Modalität als ein Kontinuum verstanden werden muß. Nur eine gemeinsame Arbeit der Subjekte über ihre Darstellungsformen kann dem fiktionalen und dem wissenschaftlichen Charakter kultureller Schöpfungen gerecht werden.

STICHWÖRTER : mathematisches Denken, mathematische Gegenständlichkeit, Sprache und Mythos, Metapher, antike und moderne Rationalität, Cassirer, Lakoff und Núñez, Cadiot und Visetti.

RIASSUNTO : Contrapponendosi al punto di vista standard che tende a scartare la storia e l'intersoggettività quando si tratta di cognizione matematica, l'articolo mostra che solo mettendole in conto si possono evitare alcune aporie classiche connesse con lo statuto dell'oggettività matematica, in particolare lo psicologismo ed il relativismo. Basandosi sul quadro concettuale elaborato da Ernst Cassirer sotto il nome di « forma simbolica », l'articolo mostra che il registro letterario ed il registro oggettivo del senso devono essere collocati su di un continuum e che solo il lavoro collettivo dei soggetti sulle proprie rappresentazioni permette di rendere conto del carattere letterario e di quello scientifico dei prodotti culturali.

PAROLE CHIAVE : cognizione matematica, oggettività matematica, linguaggio e mito, metafora, razionalità antica e razionalità moderna, Cassirer, Lakoff e Núñez, Cadiot e Visetti.

Jean LASSÈGUE, né en 1962, est chargé de recherche au laboratoire Lattice (Langues, textes, traitements informatiques et cognition, UMR 8094 CNRS-École normale supérieure). Ses recherches se situent à l'articulation des sciences cognitives et des sciences de la culture.

Adresse : Laboratoire Lattice-CNRS, École normale supérieure, 1 rue Maurice-Arnoux, F-92120 Montrouge.

Courrier électronique : jean.lassegue@ens.fr

En faisant remarquer que le problème du fondement des mathématiques n'est pas seulement un problème logique mais bien plutôt un problème d'épistémologie cognitive exigeant de retracer la genèse des concepts étudiés, on est généralement prêt à accorder un rôle à l'historicité et à l'intersubjectivité dans le développement des concepts mathématiques. Cependant, cet appel à l'historicité et à l'intersubjectivité est plus une position de principe qu'une mise en œuvre effective parce que l'on s'en tient habituellement soit à une analyse de facture cognitiviste ayant trait aux bases motrices de la perception du sujet, soit à une analyse de facture phénoménologique où intervient le corps incarné. Dans les deux cas, l'appel à l'histoire et à l'intersubjectivité est à la fois admis et rejeté en fin d'étude comme s'il était finalement extérieur à la démarche.

L'expérience de pensée sous-jacente à cette épistémologie cognitive tend donc à promouvoir l'image d'un sujet mathématicien semblant sortir tout droit d'un livre : taillé sur mesure pour correspondre à une genèse des concepts déjà hautement travaillés par l'abstraction mathématique, il n'a finalement que peu de rapport avec les sujets plongés dans l'histoire et l'intersubjectivité. La raison en est connue : derrière une telle expérience de pensée, se lit en filigrane le projet d'une naturalisation inspirée aujourd'hui par les neurosciences – jadis par la science physique – qui peuvent se cantonner à ce type de représentation du sujet pour des raisons épistémologiques précises liées à leur contexte de recherche, focalisé exclusivement sur la géographie d'une architecture neuronale dont on sait qu'elle est commune à tous les individus de l'espèce et qui peut donc se limiter, en première approximation, à l'analyse de l'individu isolé. Il n'est évidemment pas impossible que le transfert du contexte épistémologique des neurosciences à celui de la genèse cognitive des concepts mathématiques soit, intégralement ou en partie, possible et que l'on puisse à bon droit s'en tenir à ce genre de représentations du sujet quand on analyse le problème du fondement des mathématiques d'un point de vue cognitif. Encore faut-il s'en assurer et ne pas considérer comme un acquis ce qui n'est qu'un présupposé.

Dans les pages qui suivent, il s'agit donc d'essayer de comprendre pourquoi l'appel à l'historicité et à l'intersubjectivité, même s'il est lancé de bonne foi, n'a que peu d'incidences sur le type d'analyse cognitive qui est ensuite pratiquée. Pour ce faire, on s'appuiera principalement – mais non exclusivement – sur l'œuvre d'Ernst Cassirer car il a su, bien avant les autres, montrer l'importance capitale de l'histoire et de l'intersubjectivité dans la genèse des concepts et déjouer les attendus d'une attitude souvent involontairement scientiste à l'égard des pratiques culturelles.

On espère ainsi contribuer à nouer – ou renouer – des fils aujourd'hui bien distendus entre les sciences cognitives et les sciences de la culture en montrant

que l'analyse de la cognition doit s'opérer de façon *située* dans un contexte culturel donné.

I. – POSITION DU PROBLÈME

Le projet d'une cartographie neuronale mis en chantier aujourd'hui par les neurosciences n'est que le dernier avatar du projet plus vaste de naturalisation qui s'est constitué depuis l'avènement de la physique moderne. Le projet contemporain hérite, de ce point de vue, de l'attitude épistémologique mise en place dès Galilée : la science est une reconstruction fonctionnelle de type structural ; ses concepts, d'essence mathématique, relient entre eux des éléments par des lois d'engendrement et ne visent pas à « sauver les phénomènes¹ », c'est-à-dire à justifier le monde tel qu'il est perçu par les sens. Mais on sait du même coup – le Husserl de la *Crise des sciences européennes* y a suffisamment insisté² – que le paradigme fonctionnel dans les sciences exactes et les sciences de la nature a aussi son revers : il ne rend pas compte du rapport de signification (qui est à la fois *sens* et *valeur*) que nous entretenons, via la langue naturelle, avec notre environnement sensible³. Ce rapport de signification, tel qu'il apparaît dans la langue, est essentiellement changeant et met au défi la détermination univoque des concepts que vise la science. Or, ce rapport de signification dont la langue manifeste avec clarté la prégnance individuelle et collective est précisément à la base de ce qui fonde l'histoire et l'intersubjectivité : aussi réintroduire les aspects historiques et intersubjectifs dans la genèse des concepts va-t-il directement à l'encontre du paradigme scientifique dominant depuis Galilée. C'est sans doute ce qui explique la difficulté qu'il y a à faire intervenir l'histoire et l'intersubjectivité dans un projet de recherche scientifique comme celui des sciences cognitives : le rapport à la signification y est *mal vécu* parce qu'il apparaît comme menaçant d'échec le projet d'une détermination scientifique de la cognition et de ses productions spécifiques, comme par exemple les mathématiques. Confronté à ce malaise, on peut tenter de l'écarter purement et simplement en déclarant que les capacités cognitives sont inchangées à travers le temps (élimination de l'histoire) et stables quelles que soient les langues (élimination de l'intersubjectivité). On risque, ce faisant, non pas tant d'écarter le problème de la signification que de le *refouler*, en lui laissant le loisir de resurgir ailleurs, en une autre guise. Il faut donc essayer de se confronter directement au problème de la signification, de la

1. DUHEM, 1990.

2. Il y montre que la science moderne depuis Galilée y occulte son propre fondement.

3. CASSIRER, 1929, p. 25-26.

place que celle-ci occupe dans la cognition et plus spécifiquement dans la cognition mathématique. Plusieurs solutions semblent envisageables.

I.1. – La cognition mathématique incarnée : l'approche de Lakoff et Núñez

Dans un livre récent⁴, George Lakoff et Rafael Núñez ont tenté de défendre le point de vue suivant : plutôt que de séparer radicalement le monde de la signification, tel qu'il est véhiculé dans la langue et le mythe, du monde de la rationalité scientifique, en particulier mathématique, il est plus expédient, d'un point de vue cognitif, d'étudier les ressources que ces deux types d'activités ont en commun en revenant à ce qui fait le substrat commun de toute activité humaine, le corps incarné. À moins de leur supposer une nature mystique, disent les auteurs, les mathématiques, en tant que pratiques culturelles, doivent faire usage d'un bagage cognitif qui n'est pas fondamentalement différent de celui utilisé dans toute autre activité humaine : il faut donc essayer de montrer en quel sens et de quelle manière le discours mathématique, dont on reconnaît par ailleurs la grande spécificité, fait usage du bagage cognitif en question. Pour parvenir à ce but, les auteurs se démarquent d'une attitude qui verrait dans les mathématiques un discours « désincarné » et qui viserait à décrire des entités ayant une existence *réelle* tout en étant « abstraite ». Les auteurs revendiquent l'existence d'un certain nombre de mécanismes cognitifs nécessaires et suffisants pour rendre compte de l'émergence de concepts mathématiques. En voici les principaux.

Premièrement, il existe des mécanismes mathématiques innés. C'est le cas par exemple de l'arithmétique. En se référant en particulier aux travaux de Stanislas Dehaene, ils considèrent qu'il existe un mécanisme commun à certaines espèces dont l'espèce humaine et qui permet d'isoler immédiatement jusqu'à trois unités. Ces mécanismes innés ne sont pas suffisants pour engendrer des concepts proprement mathématiques : ils doivent être couplés avec d'autres mécanismes pour permettre de dériver de nouveaux concepts.

Deuxièmement, il existe des schémas d'image universels : via le système universel des relations spatiales qui se décomposent en « schémas d'image » à la fois perceptif et conceptuel de nature gestaltiste, il devient possible, selon les auteurs, de faire des inférences qui n'ont pas besoin de transiter par une logique symbolique. Par exemple, pour les auteurs, le concept mathématique de *classe* dérive, via un schéma d'image particulier, de la notion de *collection* ; celui de *réursion*, de celle d'*action répétée* ; celui d'*arithmétique complexe* de celle de *rotation* ; celui de *calcul infinitésimal* de celle de *mouvement*.

4. LAKOFF et NÚÑEZ, 2000.

Troisièmement, le mécanisme métaphorique est universel : pour les deux auteurs, il s'agit d'un mécanisme cognitif qui n'est pas cantonné à l'usage qui en est fait dans la parole mais qui relève directement de la *pensée*. La métaphore est alors définie comme « correspondance entre domaines préservant l'inférence » (*inference-preserving cross-domain mapping*). Dans le cas des mathématiques, la métaphore permet d'opérer un travail proprement conceptuel, car elle permet de relier entre eux différents domaines de cette nature. Les métaphores mathématiques sont de deux types : elles sont soit des métaphores de fondement, soit des métaphores de liaison.

À partir du couplage de ces mécanismes, il devient possible, pour les auteurs, de mener à bien une analyse cognitive de grands concepts mathématiques, comme ceux d'infini, de nombres réels, d'infinitésimal, de points et de continu, etc.

I. 2. – Critique de l'approche de Lakoff et Núñez

Un certain nombre de critiques peuvent être formulées au sujet de cette approche qui, tout intéressante qu'elle soit d'un point de vue cognitif, ne me semble pas prendre la mesure véritable du problème de la cognition mathématique.

Tout d'abord, il me semble que toute approche *interprétative* de la démarche culturelle que sont les mathématiques tend à se diluer quand on fait appel à des mécanismes cognitifs à propos desquels on admet l'hypothèse qu'ils sont universels. Comment, dans l'approche cognitive en question, réussir à justifier le fait que les mathématiques n'ont pas été interprétées de la même manière au cours du temps ? Par exemple, le concept de *racine carrée* tel qu'il est appréhendé dans la mathématique grecque peut-il être interprété comme une première ébauche de ce qui deviendra pour nous le corps des réels ? Nous verrons plus bas que le fait qu'il puisse y avoir des divergences d'interprétation portant cependant sur ce qui nous paraît être un même concept est un problème majeur pour la cognition mathématique. Lakoff et Núñez prennent donc le risque d'opérer un *nivellement généralisé* du sens des énoncés mathématiques en présupposant toujours l'univocité de leur sens. Or les mathématiques *interprètent* des concepts et chaque interprétation renouvelle le sens du concept en question en le reconstruisant *entièrement*. On pourrait prendre l'analogie suivante : de même que l'on ne construit pas le corps des rationnels à partir de celui des entiers mais qu'il faut à l'inverse construire d'entrée de jeu les rationnels pour y retrouver les entiers comme un cas particulier, de même on ne doit pas présupposer l'univocité d'un concept qui se généraliserait ensuite *uniformément* au cours du temps. On pêche donc par une sorte de finalisme occulte quand on croit pouvoir décrire le sens unique d'un concept, car ce que l'on défend inconsciemment, ce n'est finalement que la dernière mouture de son interprétation indéfinie.

Ensuite, il ne me semble pas que la définition de la métaphore comme « correspondance entre domaines préservant l'inférence » puisse véritablement rendre compte de l'évolution propre à un concept mathématique. Trois points me paraissent faire problème au sujet de la notion de correspondance. Tout d'abord, cette conception de la métaphore n'envisage celle-ci que comme mise en rapport de domaines déjà existants, dont il faut supposer qu'ils existent de façon innée puisqu'il n'y a aucun moyen de les constituer mathématiquement. Ensuite, la mise en rapport de domaines, certes capitale en mathématiques (peut-être surtout d'ailleurs depuis le XIX^e siècle), ne rend pas compte de l'apparition d'un concept nouveau. Peut-on, par exemple, justifier l'apparition du concept de nombre imaginaire ou de nombre réel sur cette seule base ? En reprenant le même exemple que plus haut, on peut s'interroger sur la manière de justifier l'apparition de la racine carrée comme *problème* en géométrie grecque à partir du modèle de la mise en rapport de domaines déjà existants. Il est peut-être possible de raconter la solution de la « crise des irrationnelles » comme la façon d'envisager un nouveau rapport « métaphorique » entre arithmétique et géométrie, mais l'aspect problématique du concept disparaît dès lors complètement, alors qu'il doit toujours se manifester pour qu'il puisse continuer à exiger d'être compris : si le concept de *racine carrée* tel qu'il est apparu en géométrie grecque pouvait être intégralement justifié sur la base d'un certain rapport entre les domaines déjà existants de l'arithmétique et de la géométrie, conserverait-il son sens *problématique* ? C'est en tant qu'il est problématique qu'il exige de chacun d'entre nous sa reprise par un travail sur soi et c'est ainsi qu'il continue à avoir un sens rationnel : sans quoi, il est, à proprement parler, *lettre morte*.

Enfin, si par inférence les auteurs entendent l'inférence logique, la préservation de l'inférence dans le cadre du mécanisme général de la métaphore paraît une propriété bien *ad hoc*. On ne voit pas en effet pourquoi il serait nécessaire de plaquer sur la notion de métaphore le problème logique du transfert des conditions de vérité. Cela laisse entendre que les auteurs considèrent la vérité d'un transfert métaphorique comme justiciable d'un jugement en termes logiques. Outre qu'il faudrait savoir précisément de quelle logique il s'agit – celle des prédicats du premier ordre ? le second ordre est-il autorisé et sur quelle base ? –, il n'est pas certain que l'application même du schéma logique soit pertinent : avant de recevoir une justification en termes logiques, un énoncé mathématique peut continuer à féconder un domaine conceptuel sans qu'on y trouve à redire. Doit-on considérer la locution de « quantité évanouissante » en calcul infinitésimal comme justiciable d'une analyse en termes logiques ? On peut certes montrer en quel sens logique la locution a un sens – Weierstrass s'y est employé –, mais la cohérence logique des concepts ne doit être confondue ni avec leur pertinence ni avec leur fécondité.

I. 3. – *La place à accorder à la langue et au mythe dans la démarche rationnelle*

L'approche de Lakoff et Núñez laisse donc dans l'ombre ce qui me paraît être le problème crucial de toute analyse cognitive des mathématiques, à savoir le fait qu'elles sont un *parcours interprétatif*, qui s'appuie certes sur des mécanismes cognitifs généraux mais qui vise un but très particulier, celui d'une conquête de l'*objectivité*. La difficulté consiste à articuler ce but si particulier avec les mécanismes en question, en conservant aux énoncés mathématiques leur caractère essentiellement problématique.

On s'appuiera, pour ce faire, sur les réflexions de Cassirer qui avait, dès les années 1920, conçu un cadre général d'interprétation de la culture permettant de penser cette articulation. Sa démarche paraît bien loin d'une démarche proprement cognitive – et elle l'est à bien des égards – mais elle a l'avantage, pour nous aujourd'hui, de permettre de croiser une perspective émanant des sciences de la culture et une autre émanant des sciences cognitives.

Le projet de Cassirer consiste à tenter d'élargir la base du savoir scientifique en réintégrant dans la sphère du rationnel des conditions de possibilité qui ne sont pas seulement objectives et qui servent bien plutôt de conditions de possibilité à l'élaboration d'une science objective. Un tel projet n'est possible que parce qu'on a les moyens de mettre au jour une rationalité préobjective – « subjective », dirait Cassirer. C'est toute l'idée de la notion de « forme symbolique » que de permettre à cette rationalité préobjective de s'exprimer effectivement.

Si l'on se rappelle la façon dont nous avons posé le problème du refoulement du domaine de la signification par la démarche scientifique en général et par les sciences cognitives en particulier, on voit quel parti on peut tirer du projet de Cassirer : il s'agit de prendre en compte *directement* l'historicité et l'intersubjectivité conçues comme conditions préobjectives de possibilité tout en respectant l'objectivité spécifique des concepts et, en particulier, des concepts mathématiques.

II. – LE PROJET D'UNE PHILOSOPHIE DES FORMES SYMBOLIQUES

La première étape du projet consiste donc à revenir à ce qui n'avait été jusqu'à présent que refoulé, à savoir le rôle joué par la signification dans la constitution de l'objectivité. Deux démarches sont nécessaires : d'une part, une analyse – intemporelle pourrait-on dire, que Cassirer appelle « logique » – des ressorts propres à l'élaboration de la signification ; d'autre part, une analyse – que Cassirer appelle « dynamique » – des étapes historiques de constitution de la rationalité.

II. 1. – Logique des formes symboliques : le rôle constitutif de la métaphore dans l'élaboration de la signification

Comme seul exemple peut être pris le cas de la métaphore telle qu'elle se déploie dans la langue et le mythe considérés comme conditions préobjectives nécessaires à la constitution de l'objectivité. Cassirer s'est, lui aussi, penché sur le rôle capital de la métaphore comme mécanisme permettant d'articuler l'expression linguistique et mythique. Sans référer la métaphore à un mécanisme cognitif général, il essaye seulement d'en dégager le sens. Pour lui, la métaphore n'est pas seulement la chambre d'enregistrement d'oppositions différentielles déjà fondées par ailleurs dans des domaines tout constitués⁵ pas plus qu'un simple mécanisme de transfert entre des domaines sémantiques déjà existants⁶ : son rôle est *constitutif* en ce qu'elle stabilise, au moins temporairement, en une unité, des sens qui sont, à un autre niveau, conçus comme hétérogènes.

Comme l'ont montré récemment Pierre Cadiot et Yves-Marie Visetti⁷, qui se réclament d'ailleurs explicitement de Cassirer⁸, la métaphore permet d'énoncer des jugements de *conformité* et non des jugements d'*appartenance* qui attribueraient des propriétés en plaçant un contenu sous une forme, selon le schéma logique de la prédication. Dans cette mesure, la métaphore est une *fiction de catégorisation* parce qu'elle ne vise pas à ordonner un sens déjà construit mais plutôt à faire apparaître du sens en créant de la différence : dire d'un café que « c'est de l'eau » n'a évidemment pas pour but de catégoriser le café comme eau – même si le café que l'on boit est *réellement* et *à peu près intégralement* fait à base d'eau. La métaphore permet ainsi de conserver la permanence d'un motif sous l'hétérogénéité de thèmes. Le mot – et sans doute même, à une échelle plus petite, le morphème – apparaît dès lors comme faisant perdurer un noyau de sens qui, quels que soient les domaines sémantiques où la métaphore recrute une valeur à ses propres fins signifiantes, conserve une stabilité qui n'entame pas radicalement son identité, tout en réélaborant les rapports entre les différents domaines qu'elle traverse. Dès lors, on ne peut plus concevoir le mot ou le morphème dans le cadre exclusif d'une théorie logique de la prédication : il n'est pas une étiquette accolée à un concept idéal sous lequel viendrait se subsumer des entités déjà existantes et dont on tenterait de dégager la vériconditionnalité malgré l'absence d'identité sémantique mais il est plutôt ce qui conserve temporairement l'unité d'un noyau sémantique à travers les champs qu'il parcourt et dont il modifie les modes d'existence par sa présence même. C'est pourquoi la métaphore a d'emblée un statut

5. LÉVI-STRAUSS, 1962, p. 144.

6. C'est ainsi que l'interprètent LAKOFF et NÚÑEZ, 2000.

7. CADIOT et VISETTI, 2001.

8. CADIOT et VISETTI, 2001, p. 215, n. 1.

fictionnel : en associant des domaines sémantiques hétérogènes, elle produit un sens nouveau qui émerge grâce à cette association et non en dépit d'elle. C'est ce qui apparaît de façon éclatante dans l'univers mythique : comme l'ont souligné maints auteurs, le mythico-rituel est fondamentalement métaphorique et semble avoir plus de réalité que ce qu'il est censé décrire⁹. Comment expliquer sinon, comme le rapporte Cassirer, que dans un mythe grec décrivant la naissance des hommes, ces derniers soient assimilés à des pierres ? Une fois que l'on sait qu'en grec, les pierres (*laooi*) et les hommes (*laas*) peuvent être rapprochés par homophonie, la constitution du mot en chose réelle permet de mettre en relation tous les champs sémantiques que les mots « métaphorisés » ont traversés : d'où la constitution possible d'un récit et même de plusieurs, faisant jouer ces parcours multiples. La métaphore apparaît bien alors comme créatrice et non pas comme seulement reproductrice.

Comment, à partir de cet aspect radicalement fictionnel de la langue et du mythe, dérivant de l'aspect intrinsèquement métaphorique de leur fonctionnement, peut-on espérer construire un domaine relevant de l'objectivité ?

II. 2. – *Dynamique des formes symboliques : les étapes de la rationalité*

Pour Cassirer, l'attitude rationnelle est le fruit d'un rejet *de principe* de toutes les valeurs qui font autorité dans le mythe et qui est le résultat de la toute-puissance de la pensée, véhiculée au premier chef par le fonctionnement originellement métaphorique du langage. Ce rejet, fondateur de la rationalité, est un événement qui s'est produit historiquement – et qui s'est même reproduit plusieurs fois – et non pas une structure cognitive intemporelle : il est le résultat d'une évolution historique collective *et c'est pourquoi il est possible de le dépasser*. S'il est possible pour Cassirer de réintégrer dans l'orbite du rationnel ce qui relève de la langue et du mythe, c'est précisément parce que le rationnel ne se confond pas avec une faculté donnée une fois pour toutes mais qu'il est susceptible d'évoluer.

II. 2. 1. – *L'avènement de la rationalité comme crise*

Ainsi, Cassirer décrit l'avènement de la rationalité comme un moment de crise lié à la naissance simultanée de la philosophie et des mathématiques en Grèce antique. Mais cet événement historique a ceci de particulier qu'il s'est également reproduit au cours de l'histoire, en particulier lors de l'avènement de la physique moderne à l'époque de Galilée : c'est à cette époque que le monde de significations lié à la perception sensible a été progressivement remplacé par une science physique. C'est cette répétition qui fait d'un événement

9. DURKHEIM, 1912.

historique une structure intemporelle de la rationalité, même si elle prend une forme particulière à chaque fois.

Dans l'Antiquité, cette crise a eu pour conséquence de promouvoir l'idée fondamentale de la philosophie antique – que l'on trouve diffusée dès les dialogues de Platon jusqu'aux *Éléments* d'Euclide –, celle d'*objet idéal et rationnel*, dont le paradigme est l'objet mathématique¹⁰. Le paradigme grec du rationnel a essentiellement consisté à faire de l'espace un lieu homogène, apte à servir de substrat à la recherche de rapports de mesure entre formes géométriques. C'est l'homogénéité de l'espace qui rend possible cette mise en rapport des figures entre elles et qui en fait le réquisit préobjectif de toute la *mathesis* grecque.

Comme l'a profondément remarqué David Rapport Lachterman¹¹, c'est justement l'homogénéité de l'espace géométrique calqué sur celui que l'on prête à l'espace perçu qui va être remis en question par la *mathesis* moderne. Ce qui distingue la *mathesis* grecque de la *mathesis* moderne est en effet lié à la constitution par Descartes de la géométrie analytique qui transforme les mathématiques en une discipline *constructive* et non plus *contemplative*. Descartes et ses successeurs désignent par construction l'interprétation d'une équation algébrique, interprétation qui consiste à exhiber une forme géométrique particulière correspondant à l'équation. Mais les expressions algébriques sont pleinement autonomes par rapport aux segments de droite leur servant de substrat dans l'espace. Cela suppose d'abandonner l'idée selon laquelle les opérations arithmétiques portant sur des quantités devraient avoir une contrepartie immédiate au sein des segments de droite de l'espace perçu. Il en découle une hétérogénéité fondamentale entre les figures géométriques : ainsi, par exemple, une ligne droite et une parabole n'ont pas de raison commune. Aussi la localité de l'objet *n'est-elle plus fondée ontologiquement* et seules les opérations arithmétiques portant sur des quantités algébriques permettent d'en donner une définition.

Dans la mesure où la construction exige l'intervention d'un sujet qui construit, elle distingue radicalement la pratique mathématique des Modernes de celle des Anciens : la construction fait passer du monde intérieur de l'âme qui est de nature algébrique au monde extérieur, celui de l'espace et des corps étendus, qui est de nature géométrique. C'est sur la conception du rôle de la démonstration que la différence entre les deux façons de concevoir les mathématiques est la plus claire. Deux solutions sont en effet possibles concernant la question de la nature de l'adhésion provoquée par la démonstration : l'autorité de la démonstration découle, en effet, soit du milieu dans lequel elle a lieu, soit de l'esprit qui la construit.

10. CASSIRER, 1929, p. 29.

11. LACHTERMAN, 1989.

C'est cette dernière solution qu'empruntent les Modernes : elle consiste à reconnaître dans le caractère *cinématique* de la démonstration une *projection de la direction de l'esprit* qui permet d'emporter l'adhésion. Pour un Descartes ou un Newton, les constructions cinématiques au moyen de machines fournissent ainsi la preuve *matérielle* que la construction par le truchement du concept a bien engendré une objectivité. On pourrait arguer que les constructions cinématiques étaient employées dès l'Antiquité, par exemple par Archimède. C'est vrai mais celles-ci n'ont pas le même sens que chez les Modernes. Pour Archimède, les constructions cinématiques sont essentiellement abstraites et visent seulement à libérer l'esprit du mathématicien des relations géométriques complexes qui risquent de le paralyser : aussi le but des constructions cinématiques est-il seulement de mener une enquête (*theorein*) sur une proposition, en mettant en relief ses traits caractéristiques, que la preuve proprement dite permettra ultérieurement de mettre en lumière. La démonstration « cinématique » n'a pas – ou peu – été pratiquée chez les Anciens. Comme le remarque Lachterman cependant, les Grecs possédaient les techniques qui leur auraient permis d'en venir à une interprétation constructive des mathématiques : celle-ci n'était donc pas contenue d'avance dans la pratique antique des mathématiques qui, globalement, relevaient d'un autre cadre interprétatif.

II. 2. 2. – Rationalité antique, rationalité moderne

Comment concilier l'existence de différents paradigmes pour une seule et même science ? On voit bien que faire appel à un ensemble de mécanismes cognitifs à la manière de Lakoff et Núñez aurait pour résultat de niveler complètement les différences entre *mathesis* antique et *mathesis* moderne. *A contrario*, faire de chaque époque de la culture mathématique une totalité hermétique n'aurait aucun sens puisque l'on a reconnu dans le rejet du monde des valeurs et des significations le point commun à tout avènement historique de la rationalité. Il reste une solution à ce dilemme : c'est de reconnaître, comme le fait Cassirer, à la catégorie de *sujet*, une place fondamentale dans le développement de la culture. C'est en effet *par un travail des sujets sur leurs propres représentations*, dans l'histoire et l'intersubjectivité, que peuvent se concilier les deux régimes si opposés de la signification, le régime fictionnel et le régime objectif. Il ne faut plus alors voir dans le moteur métaphorique de la langue un obstacle irrémédiable à la constitution d'une objectivité mais plutôt la condition même de son exercice.

Pour Cassirer, c'est donc à la philosophie moderne de tenter d'analyser à nouveaux frais la prégnance de la langue et du mythe dans la constitution de tout savoir rationnel. De ce point de vue, si la philosophie moderne parvient à réintégrer dans l'objet de sa réflexion le monde sensible peuplé de valeurs et de sens véhiculés par la langue, ce n'est pas par une régression infantile vers un état dépassé par le progrès de la science, mais au contraire parce que la

philosophie moderne a atteint une maturité qui lui permet d'intégrer en elle ce que la science moderne avait tendance à refouler. Car, même si le paradigme moderne de la science constitue indéniablement un progrès dans l'ordre de la science de la nature par rapport au paradigme antique – ce que Cassirer est le premier à reconnaître –, ce progrès s'est opéré, à un moment historique précis, par une reconstruction globale du champ général du savoir qui, d'une part, n'est pas en continuité avec ce qui précède et qui, d'autre part, n'élimine pas l'équilibre qui doit exister entre le monde de la signification véhiculé par la langue et le monde de la science, reconstruit à partir de concepts rationnels d'essence mathématique.

III. CONCLUSION

On comprend mieux maintenant en quoi une analyse de la pratique mathématique en termes cognitifs me semble devoir être couplée avec une analyse de la même pratique en termes culturels : les sciences cognitives et les sciences de la culture doivent marcher d'un même pas, sous peine de voir les premières sombrer dans le psychologisme et les secondes dans le relativisme. Cassirer, de ce point de vue, est parvenu à réaliser un équilibre dont on devrait s'inspirer aujourd'hui.

L'analyse de la constitution historique de la rationalité que propose Cassirer, qui semble pourtant bien éloignée du problème posé par l'épistémologie cognitive des concepts mathématiques, permet cependant de reprendre à nouveaux frais l'expérience de pensée au centre de laquelle l'épistémologie cognitive standard place un sujet isolé, sans histoire et sans parole. On comprend mieux, du même coup, pourquoi on fait appel si tardivement à l'histoire et à l'intersubjectivité dans l'épistémologie cognitive des concepts mathématiques : c'est que cette épistémologie reproduit inconsciemment l'histoire même des débats autour de la constitution du savoir rationnel depuis l'Antiquité. Car en finissant, du bout des lèvres pourrait-on dire, par accorder un rôle à l'histoire et à l'intersubjectivité, cette épistémologie souligne sans les problématiser les aspects, à première vue contradictoires, du mouvement scientifique de naturalisation et du mouvement philosophique d'investigation ayant le monde de la signification pour objet.

Jean LASSÈGUE
(juillet 2002).

LISTE DES RÉFÉRENCES

- CADIOT (Pierre) et VISETTI (Yves-Marie), 2001, *Pour une théorie des formes sémantiques. Motifs, profils, thèmes*, Paris, Presses universitaires de France.
- CASSIRER (Ernst), 1929, *Philosophie des formes symboliques. La phénoménologie de la connaissance*, Paris, Minuit.
- DUHEM (Pierre), 1990, *Zoëin Ta Fainomena. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Paris, Vrin.
- DURKHEIM (Émile), 1912, *Les Formes élémentaires de la vie religieuse. Le système totémique en Australie*, Paris, Alcan.
- LACHTERMAN (David Rapport), 1989, *The Ethics of geometry. A genealogy of modernity*, New York-Londres, Routledge.
- LAKOFF (George) et NÚÑEZ (Rafael), 2000, *Where mathematics comes from. How the embodied mind brings mathematics into being*, New York, NY, Basic Books.
- LÉVI-STRAUSS (Claude), 1962, *Le Totémisme aujourd'hui*, Paris, Presses universitaires de France.

L'ANTHROPOLOGIE DES ANIMAUX

ÉTHOLOGIE ANIMALE ET SAVOIRS ANTHROPOLOGIQUES DANS L'ŒUVRE DE CHARLES-GEORGES LE ROY (1684-1753)

Wiktor STOCZKOWSKI

RÉSUMÉ : À travers une analyse de l'œuvre de Charles-Georges Le Roy, présenté par l'historiographie traditionnelle comme l'un des premiers observateurs du comportement animal en milieu naturel, l'article se propose de mettre au jour l'usage que cette « éthologie » empirique des Lumières faisait d'un corpus élaboré et hautement structuré de savoirs anthropologiques. Au-delà d'un constat trivial d'une projection anthropomorphique sur les animaux des caractéristiques universellement reconnues comme humaines, on s'interroge sur le recours, dissimulé par une méthodologie déclarative d'allure empirique, à une anthropologie de sens commun, historiquement et ethnologiquement variable. À l'occasion de cette étude de cas contextuellement située, on pose la question plus générale de l'interaction entre les données empiriques que l'éthologie animale accumule et les représentations anthropologiques qui sont implicitement mobilisées dans l'interprétation des observations éthologiques.

MOTS-CLÉS : anthropologie et savoirs éthologiques au XVIII^e siècle en France, représentations des animaux, anthropologie historique d'une ethnoscience occidentale.

ABSTRACT : *Traditional historiography sees Charles-Georges Le Roy as one of the first observers of animal behaviour in its natural habitat. This paper highlights the manner in which this empirical « ethology » of the Enlightenment used an elaborate and systematically organised body of anthropological knowledge. However, more was at stake than the simple projection, on animals, of human characteristics deemed to be universal. This seemingly empirical ethology mobilized in fact a common-sense anthropological knowledge, historically and culturally variable. The particular case study presented here points to the necessity of more research on the relationship between the empirical data accumulated by ethology and anthropological representations which underlie their interpretation.*

KEYWORDS : *anthropology and ethological knowledge in XVIIIth century France, representations of animals, historical anthropology of a Western ethnoscience.*

ZUSAMMENFASSUNG : Die traditionelle Geschichtsschreibung sieht in Charles-Georges Le Roy einen der ersten Beobachter von Tierverhalten im natürlichen Lebensraum. In diesem Aufsatz wird herausgearbeitet, wie diese empirische « Ethologie » der Aufklärung einen umfassenden und strukturierten Fundus anthropologischer Kenntnisse verwendet. Dabei geht es um weit mehr als die simple Projektion von als universal erachteten menschlichen Eigenschaften auf Tiere. Untersucht wird, wie eine sich empirisch gebende Ethologie einen anthropologischen common sense mobilisiert, der historisch und kulturell variabel ist. Anhand dieser Fallstudie wird so die grundsätzliche Frage nach dem Zusammenspiel von empirischen ethologischen Erkenntnissen und anthropologischen Grundannahmen, die implizit in die Interpretation von ethologischen Beobachtungen eingehen, gestellt.

STICHWÖRTER : Anthropologie und ethnologisches Wissen im 18. Jh. in Frankreich, Darstellung von Tieren, Historische Anthropologie einer westlichen Ethnowissenschaft.

RIASSUNTO : Attraverso un'analisi dell'opera di Charles-Georges Le Roy, che la storiografia tradizionale presenta come uno dei primi osservatori del comportamento animale in ambiente naturale, l'articolo si propone di chiarire l'uso che questa « etologia » empirica dell'Illuminismo faceva di un corpus elaborato e altamente strutturato di saperi antropologici. Oltre a rilevare una prevedibile proiezione antropomorfa sugli animali di caratteristiche riconosciute universalmente come umane, ci si interroga sul ricorso, dissimulato da una metodologia di carattere empirico, ad una antropologia di senso comune, storicamente ed etnologicamente variabile. Questo studio di caso contestualmente situato, costituisce l'occasione per affrontare la più generale questione del rapporto tra i dati empirici accumulati dall'etologia animale e le rappresentazioni antropologiche che sono implicitamente mobilitate nella interpretazione delle osservazioni del comportamento animale.

PAROLE CHIAVE : antropologia e saperi etologici nel XVIII secolo in Francia, rappresentazioni degli animali, antropologia storica di un'etnoscienza occidentale.

Wiktor STOCZKOWSKI, né en 1959, est maître de conférences à l'École des hautes études en sciences sociales, où il dirige le Groupe de recherches sur les savoirs. Ses travaux portent sur l'anthropologie des savoirs dans l'Occident contemporain, plus particulièrement, sur les rapports entre les théories des sciences de l'homme et les conceptions extra-académiques.

Adresse : Groupe de recherches sur les savoirs, École des hautes études en sciences sociales, 10 rue Monsieur-le-Prince, F-75006 Paris.

Courrier électronique : stoczko@ehess.fr

« [...] cette connoissance imparfaite qu'on a de soi est le seul moyen qu'on employe à connaître les autres. »

Jean-Jacques ROUSSEAU,
« Ébauches des *Confessions*¹ ».

L'éthologie est une discipline à la mode. Nombre de ses praticiens et de ses admirateurs espèrent qu'elle puisse les instruire non seulement sur les animaux mais aussi sur les hommes, dont il serait difficile de nier qu'ils appartiennent, fût-ce partiellement, au monde animal. Ainsi les éthologues n'hésitent-ils pas à parler de la chose humaine, dissertant fréquemment sur économie, guerre, gestion de conflits, technologie, division du travail, amour, altruisme, morale. La légitimité du transfert de connaissances de l'animal à l'homme a suscité d'innombrables débats, et l'on a déjà maintes fois stigmatisé l'interprétation hâtive du comportement humain en termes zoologiques. Par contre, une moindre attention a été dédiée à la projection sur les animaux des caractéristiques humaines.

Il est vrai que les pièges de l'anthropomorphisme dans la description des comportements animaux n'ont échappé à personne, et la littérature qui y a été consacrée est déjà ample. Bien rare est pourtant la réflexion sur les modalités précises du transfert des caractéristiques humaines aux non humains. Nos façons de parler d'anthropomorphisme semblent tributaires de la conviction que la projection sur les animaux des traits humains ne concerne que des caractéristiques anthropologiques invariantes, évidentes, universellement reconnues comme telles et dont les représentations – reflet fidèle de la réalité humaine – seraient réfractaires à toute variation historique et ethnographique. Il est toutefois loisible d'imaginer que les représentations anthropomorphiques des animaux relèvent tout autant – et peut-être même davantage – des conceptions anthropologiques élaborées dans le contexte de savoirs locaux, soumis à une forte variation historique et culturelle. Selon cette hypothèse, les théories éthologiques se formeraient non seulement au travers d'une interaction entre une observation empirique des animaux et une anthropologie spontanée du bon sens (universellement partagée), mais aussi sous l'impact des représentations d'une anthropologie naïve, propre à un contexte culturel local. Ce dernier type de savoirs mérite d'être qualifié d'*anthropologie*, car il porte à la

1. ROUSSEAU, 1959, p. 1148.

fois sur les caractéristiques réputées constitutives de l'universelle « nature humaine » et sur la variabilité culturelle des caractéristiques ethnographiques des hommes.

Afin de mettre cette hypothèse à l'épreuve d'une étude de cas, j'ai choisi de me pencher sur les travaux de Charles-Georges Le Roy (1684-1753), à qui l'on attribue le mérite d'avoir été le premier à abandonner le cadre métaphysique du discours sur le comportement animal et à le ramener à une dimension empirique qui est censée être la sienne aujourd'hui. L'un des enjeux de l'exercice est d'essayer d'élucider le rôle que l'anthropologie naïve² peut jouer dans la construction des savoirs zoologiques, problème que les hommes du XVIII^e siècle n'étaient assurément pas les seuls à affronter : leurs procédés, que nous avons coutume d'examiner avec une lucidité plus grande que celle dont nous rendent capables les travaux de nos contemporains, semblent résumer quelques mécanismes singuliers qu'il n'est pas interdit d'imaginer à l'œuvre également dans la littérature naturaliste plus récente, en dépit de différences multiples qui séparent les deux contextes historiques.

Dans l'une de ses *Lettres sur les animaux*, Charles-Georges Le Roy, lieutenant des chasses des parcs de Versailles et de Marly, résume brièvement la journée ordinaire du cerf : l'animal sort le soir de sa retraite pour aller viander, y rentre à la pointe du jour et s'y met à la reposée, se relève parfois vers midi pour manger ou, s'il fait plus chaud, pour aller boire à quelque mare³. Nous savons moins bien quelle pouvait être la journée ordinaire d'un lieutenant des chasses au service du roi de France. On l'imagine volontiers tirant le lièvre, piégeant le renard, pistant le chevreuil ou débusquant le sanglier. Ce n'est donc pas par hasard qu'on a pris l'habitude de donner à Le Roy une place à part dans l'interminable et prolifique querelle de l'âme des bêtes : après un siècle de débats qui usèrent les arguments ingénieux mais vains des bâtisseurs de systèmes, un humble chasseur, plus familier de la forêt que des ratiocinations, aurait démêlé quelques écheveaux de la controverse en y apportant les lumières de l'observation des animaux⁴. Le Roy sut alimenter cette impression, en prenant soin de fustiger l'ignorance des philosophes et d'exalter l'expérience des veneurs, sans laisser le moindre doute sur la catégorie où il convenait de le ranger lui-même⁵.

2. STOCZKOWSKI, 1994.

3. Charles-Georges Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 94, l. 67-70.

4. FONTENAY, 1998, p. 465 ; LESTEL, 2001, p. 25-27 et 39.

5. Ch.-G. Le Roy, « Lettre d'envoi à madame *** », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 77, l. 11-16.

La ficelle rhétorique est grosse, mais certains historiens, habitués à prendre les déclarations méthodologiques des auteurs qu'ils étudient pour un reflet fidèle de leurs démarches, n'ont pas manqué – pour parler comme les chasseurs – de donner dans le panneau, probablement plus faciles à piéger que ne le sont les renards dont Le Roy admirait les ruses imparables. Le Roy n'était certes pas un « chasseur en chambre », mais il serait imprudent d'admettre sans preuve que sa connaissance des animaux avait l'observation pour source principale et unique.

Il existe, en effet, dans les travaux de Le Roy des asymétries curieuses, qui pourraient servir d'indices utiles à la reconstitution de la façon dont son savoir a pris forme. Ainsi, par exemple, fidèle à sa réputation d'observateur de la Nature, Le Roy refusa de parler des singes dans ses *Lettres sur les animaux*, car – disait-il – il ne les avait point vus, mais ce principe ne l'a pas empêché de hasarder, dans les *Lettres sur l'homme*, des opinions bien tranchées sur les sauvages, qu'il n'avait pas vus davantage⁶. Le lecteur le moins attentif, note Élisabeth Anderson, réalise aisément que, dans les *Lettres sur l'homme*, « Le Roy ne se fonde pas sur ses observations personnelles, comme dans les lettres consacrées aux animaux, mais entasse des faits empruntés à des sources livresques⁷ ». Or, en lisant les *Lettres sur les animaux*, on se défend mal de l'impression qu'elles sont, elles aussi, fondées principalement sur des sources livresques. Et il y a plus : les conclusions que Le Roy tire au sujet des animaux semblent être en grande partie tributaires de l'image qu'il se fait de l'homme en général, et de l'homme sauvage en particulier. On a le droit de se demander si les *Lettres sur les animaux* de Le Roy ne recèlent pas – pour utiliser la terminologie moderne – une anthropologie travestie en zoologie.

Mon intention n'est pas de critiquer les « erreurs » de Le Roy, pas plus que je ne souhaite m'engager dans le labeur ingrat d'une reconstitution exhaustive de ses sources, ou encore échafauder des spéculations faciles sur le rôle du « contexte social » – cette qualité occulte des humanités modernes – dans la formation de ses conceptions, bien que l'on ne puisse échapper entièrement au devoir routinier de faire référence à ces trois questions. Il s'agit plutôt d'entreprendre, à l'instar de l'ethnologue, l'analyse de la parole d'un informateur, pour essayer de comprendre comment celui-ci construit son savoir. Le Roy sera mon informateur, alors que son discours, fort fragmentaire au demeurant

6. Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg, sur une critique des lettres précédentes, insérée dans le *Journal des Savans* », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 130, l. 167-169 ; ou encore : « Je pense encore qu'il ne faut parler que des espèces qu'on a sous les yeux, et dont on peut suivre toutes les démarches », Ch.-G. Le Roy, « Lettre d'envoi à madame *** », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 77, l. 22-23.

7. Élisabeth Anderson, « Introduction », in LE ROY, 1994, p. 69.

– comme les ethnologues en ont l’habitude – est avant tout celui des *Lettres sur les animaux*, complété accessoirement par les *Lettres sur l’homme*.

LES TROIS RAISONNEMENTS

Si l’on veut s’interroger sur le rôle des connaissances anthropologiques dans l’élaboration de l’image que Le Roy donne des animaux, il est nécessaire de dresser un inventaire des composantes essentielles de ses raisonnements, tout en reconstituant les articulations logiques qui fondent la cohérence des *Lettres sur les animaux*.

L’argumentation de Le Roy s’y déploie autour d’une triple thèse, dont il s’efforce de corroborer la validité en recourant très explicitement à trois types de raisonnements, chacun nourri de données d’observation. Le Roy clame que les animaux pensent (thèse 1), ce qui revient à dire que les animaux ne sont pas des automates (thèse 2) et ce qui impliquerait qu’ils sont perfectibles (thèse 3), cette dernière affirmation à son tour servant de prémisse logique qui permettrait de conclure que les animaux pensent (on revient à la thèse 1). La perfectibilité des animaux, reliée à leur pensée comme l’effet l’est à la cause, revêt aux yeux de Le Roy une importance cruciale, car elle est observable, contrairement à la pensée, qui ne peut se manifester que par ses effets. Ayant constaté les progrès dans l’éducation des animaux, Le Roy conclut à leur perfectibilité, et de la perfectibilité il infère la pensée, soulignant que les animaux apprennent sur leurs erreurs et ne se fient point à la seule sûreté de l’instinct, comme voulaient le faire croire les partisans de l’automatisme⁸. Par ce raisonnement, la réflexion de Le Roy s’inscrit dans un système d’oppositions binaires entre pensée et instinct, perfectible et imperfectible, variable et invariable, susceptible d’erreur et sûr, autant d’antinomies dont le débat sur l’âme des bêtes a établi la liste dorénavant convenue, situant l’homme du côté de la pensée, du perfectible, du variable et de l’erreur, sans parvenir à trancher si l’animal doit être systématiquement rejeté de l’autre côté de cette série d’oppositions.

Mais les ressources de Le Roy ne se bornaient pas à ce modeste argument. Dans ses *Lettres sur les animaux*, qui ne sont pas d’une seule pièce, il présente au moins trois raisonnements distincts et complémentaires, utilisés parallèlement pour asseoir sa triple thèse. Le premier raisonnement pourrait être qualifié de « déductif », le deuxième recourt à l’analogie, le troisième se présente comme purement « inductif ».

8. Ch.-G. Le Roy, « Lettre d’envoi à madame *** », 1^{re} éd. 1781, d’après l’éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 78, l. 36-43.

Le raisonnement « déductif » se réduit à l'inférence suivante :

Si (proposition *a*) les animaux ont des sensations,
 et si (proposition *b*) les animaux ont de la mémoire,
 alors (proposition *c*) les animaux sont perfectibles⁹.

Et puisque l'observation nous enseigne que les animaux ont des sensations (la proposition *a* est vraie) et qu'ils ont de la mémoire (la proposition *b* est vraie), il faudrait en conclure qu'ils sont perfectibles (la proposition *c* est également vraie). La mémoire et la capacité à percevoir des sensations en tant que conditions nécessaires et suffisantes de la « faculté de penser » est une idée empruntée par Le Roy à Condillac et à Helvétius¹⁰. Il convient de souligner que la thèse de Condillac, de même que celle d'Helvétius, ont été conçues pour s'appliquer principalement à l'homme, leur transposition sur les animaux n'étant qu'une projection par analogie. Condillac avait même pris soin d'avouer son ignorance de la nature des animaux, en soulignant qu'il s'était contenté d'« observer les facultés de l'homme [...] et de juger de celles des bêtes par analogie¹¹ ». Le Roy n'ignorait pas que son inférence « déductive » en faveur de la pensée animale était entièrement redevable à une théorie de l'entendement humain¹².

Alors que l'argument « déductif » se fondait sur une analogie anthropologique partiellement tacite, le deuxième type de raisonnement de Le Roy faisait explicitement de l'analogie son ressort principal. Si nous ne pouvons

9. Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg, sur une critique des lettres précédentes, insérée dans le *Journal des Savans* », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 127, l. 81-86 : « La question de la perfectibilité des bêtes se réduit à un point fort simple. Des êtres qui sentent et se ressouvient ne peuvent-ils pas éprouver, d'une manière indéfinie, des sensations nouvelles que la mémoire conserve, et qui s'ajoutent aux connaissances qu'ils avaient déjà ? Si cela est, et je doute qu'on puisse le nier, voilà déjà les individus perfectibles » ; voir aussi ID., « Lettre II », 1^{re} éd. 1762, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 92, l. 368-371.

10. CONDILLAC, 1981, p. 471, 476 et 525 ; HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. XIV, p. 15-16.

11. CONDILLAC, 1981, p. 430. Chez Condillac, il est question plutôt de l'homme que des animaux, et si l'auteur affirme que ses conclusions viennent de l'observation, c'est de l'observation de l'homme – et non pas des animaux – qu'il s'agit, voir ID., *ibid.*, p. 471-472 : « Le système que je donne n'est point arbitraire : ce n'est pas dans mon imagination que le puiser, c'est dans l'observation ; et tout lecteur intelligent, *qui rentrera en lui-même*, en reconnaîtra la solidité. » (C'est nous qui soulignons.) Dans *De l'esprit*, une longue note infrapaginale, qui fit couler beaucoup d'encre, indique quelques conséquences qu'Helvétius voulait tirer de sa thèse « anthropologique », afin de contribuer à la querelle de l'âme des bêtes : voir HELVÉTIUS, 1988, note a, p. 16-17.

12. Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg sur l'homme. Lettre première », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 145-146, l. 53-86.

accéder à ce qui se passe dans la tête des animaux et vérifier par ce moyen s'ils pensent ou non, nous pouvons en revanche constater qu'ils accomplissent parfois des actions similaires à celles des hommes qui pensent : il serait possible d'en inférer que les bêtes pensent elles aussi. Lorsque Le Roy clame que « nous pouvons démêler quelques-uns de leurs desseins [ceux des animaux], pénétrer dans les motifs qui déterminent leurs mouvemens décidés, parce que ces motifs sont les causes essentielles et nécessaires des mouvemens que nous apercevons¹³ », c'est en vertu d'une comparaison à l'homme qu'il s'autorise à établir le lien causal entre les « mouvemens » observables et les « desseins » inobservables des animaux, car chez l'homme seul les « mouvemens » et les « desseins » sont conjointement constatés¹⁴. En affirmant que les animaux pensent car ils se comportent comme les hommes qui pensent, Le Roy recourt ouvertement à une analogie anthropologique, fondée en l'occurrence sur le bon sens. L'implication d'une connaissance de l'homme dans une conclusion portant sur les animaux est ici parfaitement visible, et les adversaires de la pensée animale, de Bossuet jusqu'à Buffon, rappelaient avec insistance les incertitudes d'une telle extrapolation¹⁵.

Le troisième raisonnement de Le Roy, qualifié provisoirement d'« inductif », se présente comme purement empirique et mobilise une pléthore d'observations que l'expérience quotidienne pouvait livrer généreusement à un chasseur.

13. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 102, l. 29-32.

14. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II à madame *** sur les animaux », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 164, l. 30-34 : « Ce n'est que par la réflexion sur ce que nous éprouvons nous-mêmes, que nous pouvons juger les êtres animés qui nous environnent. Dès que nous observons une suite, et sur-tout une suite longue et variée d'actions qui n'auraient pas pu avoir lieu pour nous sans certains motifs, nous sommes en droit de juger que l'être agissant a eu ces mêmes motifs. » Voir, également, Id., « Lettre VI », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 118, l. 168-170 : « Non, Monsieur, ce n'est point une faible analogie qui me porte à croire que les bêtes comparent, jugent, etc., lorsqu'elles font les choses que je ne pourrais pas faire sans comparer et sans juger. »

15. BOSSUET, 1722, chap. v, « De la différence entre l'homme et la bête », p. 303, affirmait que « cette ressemblance des actions des bêtes aux actions humaines trompe les hommes, ils veulent, à quelque prix que ce soit, que les animaux raisonnent, & tout ce qu'ils peuvent accorder à la nature humaine, c'est d'avoir peut-être un peu plus de raisonnement ». Pour BUFFON, 1759a, p. 268-269, qui présupposait que nous ne pouvons juger des causes des « mouvemens » des animaux « que par analogie & en comparant à nos actions les opérations naturelles des animaux », les « mouvemens » des animaux restaient néanmoins un effet purement mécanique, tandis que ceux des hommes tenaient à une « substance spirituelle ». Le terme « substance spirituelle » put être de la pure rhétorique sous la plume de Buffon, mais il est certain qu'il était convaincu du caractère trompeur des ressemblances entre les comportements des hommes et des animaux, jugeant que les unes et les autres renvoient à des causes partiellement différentes.

Le Roy résume succinctement la ligne principale de l'argument :

« [...] nous sommes en droit de conclure que [...] les bêtes sentent, puisqu'elles ont les signes évidens de la douleur et du plaisir ; qu'elles se ressouvient, puisqu'elles évitent ce qui leur a nui, et recherchent ce qui leur a plu ; qu'elles comparent et jugent, puisqu'elles hésitent et choisissent ; qu'elles réfléchissent sur leurs actes, puisque l'expérience les instruit, et que des expériences plus répétées rectifient leurs premiers jugemens¹⁶. »

Pour parvenir à ces conclusions, Le Roy rassembla un grand nombre de faits qui pouvaient provenir tantôt de traités de vénerie, tantôt d'ouvrages d'histoire naturelle, tantôt du répertoire des observations personnelles de l'auteur, voire du folklore oral des chasseurs, sans que l'on soit toujours en mesure de déterminer combien les informations livresques ont conditionné ce que Le Roy observait réellement ou ce qu'il croyait avoir observé¹⁷. Si la démarche « inductive » paraît ici souvent ingénieuse, la transition entre observations et conclusions reste passablement arbitraire. Il y a de quoi être incrédule lorsque Le Roy clame induire de l'observation l'idée de propriété privée chez les lapins, chez lesquels la vieillesse serait aussi fort respectée, ou quand il assure que les loups doivent discuter dans un langage articulé les stratagèmes de leurs chasses¹⁸. Que dire de son cerf astucieux qui échafaude un raisonnement complexe en bonne et due forme, ou de ses chiens qui confectionnent des syllogismes ne cédant en rien aux modèles énoncés par Aristote dans la *Poétique*¹⁹ ? Ne semble pas plus « inductive » la thèse que le lapin démontre son intelligence étendue car il se creuse une demeure, vit en société et se choisit *une seule* compagne²⁰. Lorsque Le Roy affirme que les loups

16. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV à madame *** sur les animaux », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 183, l. 355-360.

17. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II », 1^{re} éd. 1762 et « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 83-101.

18. Au sujet de l'intelligence des lapins, voir : Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 99-100, l. 252-275 ; l'idée que les lapins respectent les anciens est empruntée à BUFFON, 1759b, p. 121-132, qui citait les dires d'un gentilhomme de ses voisins de Montbard, lequel, pendant plusieurs années, s'était amusé à élever et à observer des lapins. Pour les loups qui se concertent avant la chasse, en utilisant un langage articulé, voir Ch.-G. Le Roy, « Lettre V », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 113, l. 196-201.

19. Pour le cerf, voir Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 95, l. 88-98 ; et pour les chiens, voir Ch.-G. Le Roy, « Lettre II à madame *** sur les animaux », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 165, l. 52-65. Le raisonnement du cerf de Le Roy fait songer au raisonnement syllogistique du renard rusé in BARRY, 1660, p. 253.

20. Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 98, l. 208-215.

forment des idées abstraites et que les louves sont coquettes, il ne se réfère nullement à des observations faites dans la forêt, mais à la représentation qu'il se fait de la différence entre hommes et femmes dans sa propre société²¹. Certaines « observations » citées par Le Roy pouvaient déjà à l'époque paraître suspectes au lecteur qui connaissait la vieille tradition d'exemples de la ruse animale, utilisés comme de vénérables *topoi* par des auteurs antiques et qui continuaient à émailler de nombreux ouvrages au XVII^e et au XVIII^e siècle²². Plus significatif encore est le langage que Le Roy employait lorsqu'il décrivait les facultés cognitives des animaux, en s'efforçant de produire l'effet sinon de parité, du moins de similitude entre homme et animal, bien qu'il s'en défendît à plusieurs reprises, trop conscient sans doute du reproche que l'on ne pourrait éviter de lui adresser²³. Si les louves doivent être nécessairement coquettes et si les loups sont aptes à former des idées abstraites, c'est principalement parce que les inférences que Le Roy présente comme « inductives » s'alimentent en réalité d'un système d'analogies fondées sur la conviction que les « mouvemens » des animaux s'expliquent exclusivement par les mobiles qui accompagnent les « mouvemens » similaires chez l'homme. Ici encore, la connaissance de l'homme reste la seule clé de la connaissance de l'animal, et cette conclusion est valable pour les trois types d'arguments que Le Roy échafaude afin de soutenir la thèse de la pensée animale : sa « déduction » et son « induction » rejoignent en réalité le raisonnement par analogie, car tous les trois se fondent sur des conceptions anthropologiques.

POURQUOI LES ANIMAUX PERFECTIBLES NE SE PERFECTIONNENT-ILS POINT ?

Dans le roman facétieux de Vladimir Voinovitch, le soldat soviétique Tschonkine, ayant été instruit de la thèse de Friedrich Engels selon laquelle le travail transforma le singe en homme, s'étonne que le cheval, peinant à travailler au service de l'homme, ne se transforme pas en être humain à son tour²⁴. Cette innocente plaisanterie est comme un écho d'un vieux débat philosophique qui connut au XVIII^e siècle quelques développements intéressants²⁵. En fait, quiconque conjecture sur les conditions de la perfectibilité humaine

21. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II », 1^{re} éd. 1762, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 85, l. 113-115, et p. 87-88, l. 190-220.

22. BOAS, 1933, p. 140.

23. Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg, sur une critique des lettres précédentes, insérée dans le *Journal des Savans* », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 127, l. 66-67 : « [...] je n'ai prétendu nulle part, établir aucune parité entre l'homme et la bête. »

24. VOINOVITSCH, 1975, p. 120, et 135-136.

25. STOCZKOWSKI, 1997.

risque qu'on lui démontre leur existence chez des animaux, auquel cas il lui faudrait élucider la raison qui interdit à ces animaux de se perfectionner au même point que les hommes.

Le Roy savait que sa thèse de la perfectibilité animale pouvait être facilement retournée contre lui par les adversaires qui auraient la malignité de lui demander pourquoi les animaux, censés être perfectibles, ne font pas pour autant des progrès comparables à ceux de l'homme²⁶. Afin de parer à ce contre-argument prévisible, Le Roy se livra à l'exercice en règle de l'*anticipatio*. On peut le résumer, en l'occurrence, par les deux syllogismes suivants :

Si (proposition *a*) les animaux sont perfectibles,
alors (proposition *b*) les animaux perfectibles doivent faire des progrès comparables à ceux de l'homme.

Si (proposition *b*) les animaux perfectibles doivent faire des progrès comparables à ceux de l'homme,
et si (proposition *c*) les animaux perfectibles ne font pas de progrès,
alors (proposition *d*) il doit y avoir des causes extérieures qui empêchent les animaux de se perfectionner²⁷.

Condillac, Buffon et Helvétius s'étaient déjà ingéniés, avant Le Roy, à imaginer les obstacles qui pourraient s'opposer aux progrès des animaux, et la réponse du chasseur-philosophe ne s'est pas écartée outre mesure de ces modèles antérieurs²⁸. Une fois encore la connaissance de l'homme s'est avérée indispensable, car pour expliquer pourquoi les animaux ne progressent pas, il jugeait nécessaire de comprendre d'abord pourquoi les hommes progressent. Selon Le Roy, qui sur ce point a suivi de près la conception d'Helvétius, les principales forces motrices du perfectionnement humain sont le « loisir » et la « société », l'un comme l'autre source des « passions factices », lesquelles inspirent à l'homme l'horreur de l'ennui, force similaire à l'horreur du vide. À cela s'ajoute l'immense avantage de la possession des mains, qui rendent possible l'écriture dont dépend la transmission des idées et des inventions d'individu à individu et de génération en génération²⁹. Ces conditions,

26. BUFFON, 1759a, p. 291-292, a entrevu cet argument et l'a trouvé suffisant pour rejeter la thèse de la perfectibilité des animaux.

27. Voir, p. ex., Ch.-G. Le Roy, « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 140, l. 263-265 ; Ch.-G. Le Roy, « Lettre II à madame *** », 1^{re} éd. 1802, in LE ROY, 1994, p. 197, l. 79-86.

28. CONDILLAC, 1981, 1^{re} part., chap. II, p. 476 ; BUFFON, 1759c, p. 9-12 ; HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. I, p. 16-17 et note a.

29. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 104, l. 92-98 (le passage dont il est question a été introduit dans l'édition de 1781) ; ID., « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 140-142, l. 264-341.

accessoires à l'exercice de l'intelligence, mais nécessaires pour accomplir des progrès multiples et durables, ne seraient pas satisfaites chez les animaux. Les bêtes n'ont qu'une société éphémère, incessamment troublée par l'homme, elles partagent leur vie entre la recherche constante de nourriture et le sommeil inquiet, elles ignorent le loisir et les passions qu'il engendre, enclines au repos qu'aucun ennui ne trouble et où elles peuvent demeurer sans être incitées à cette quête frénétique de la nouveauté qui rend la vie des hommes si agitée et si changeante³⁰. Le Roy trouve toutes ces raisons suffisantes pour conserver la thèse que les animaux sont perfectibles, en dépit du fait qu'ils ne fassent pas de progrès³¹.

On pourrait certes s'interroger sur les filiations intellectuelles qui ont conditionné le raisonnement de Le Roy, et qui renvoient parfois à de lointaines et indirectes sources théologiques³². Il est cependant plus important pour notre propos de remarquer que la pensée de Le Roy, également sur ce point, était redevable davantage à une *doxa* des savoirs anthropologiques livresques qu'à des observations empiriques, et que l'explication que le lieutenant des chasses donna de l'absence de progrès chez les animaux dérive entièrement d'une représentation des mécanismes du progrès chez l'homme, développée au siècle des Lumières. L'image que Le Roy peint de l'animal ressemble étrangement

30. – Société imparfaite : Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 104, l. 77-83 ; Id., « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 141, l. 291-295 ; – Harcèlement par les hommes : Id., *ibid.*, p. 141, l. 289-290 ; – Absence de loisir : Id., *ibid.*, p. 141, l. 287-288 ; Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 106, l. 168-179 ; – Absence de passions : Id., *ibid.*, p. 111, p. 106, l. 168-172 ; Id., « Lettre V », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 109-111, l. 64-140 ; – Disposition au repos : Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 101, l. 332-334. Le résumé de l'argument se trouve dans Ch.-G. Le Roy, « Lettre II à madame *** », 1^{re} éd. 1802, in LE ROY, 1994, p. 197, l. 79-86.

31. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 104, l. 83-85.

32. Bornons-nous à un seul exemple. Dans *De l'esprit* – dont on connaît par ailleurs l'influence décisive sur Le Roy – en faisant de l'ennui le moteur de la perfectibilité humaine, HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. I, p. 267, soulignait : « On voit donc que ce sont les passions et la haine de l'ennui qui communiquent à l'âme son mouvement, qui l'arrachent à la tendance qu'elle a naturellement vers le repos, et qui lui font surmonter cette force d'inertie à laquelle elle est toujours prête à céder. » L'idée, que Le Roy ne devait pas oublier, n'était pas neuve, et on la trouve déjà chez PLUCHE, 1746, p. 126-127, ce qui montre que la « secte des philosophes » restait parfois encore très attachée à la pensée qui était officiellement la cible de ses attaques : « Mais l'homme en recevant l'impression d'une activité qui lui rend l'inaction haïssable, n'a pas été borné à une méthode ou à une façon unique de s'occuper. [...] Non seulement il imite Dieu en introduisant ici ce qui n'y avait jamais paru, mais comme Dieu, il ne cesse d'agir. »

à celle de l'homme sauvage, dont l'anthropologie raisonnée du XVIII^e siècle³³ ne cessait d'affirmer qu'il vit soumis à la tyrannie des besoins élémentaires, à la satisfaction desquels il doit vaquer en menant une vie errante et précaire. On admettait comme certain que l'union de ces individus à l'origine solitaires, qui auraient formé avec le temps la société, dut multiplier leurs besoins, avant que la maîtrise grandissante de la nature ne les libérât de la pression constante des premières nécessités et ne les jetât dans l'esclavage – non moins pesant mais plus stimuleur – des passions et des besoins factices qui naissent du loisir. Si le tableau de l'homme sauvage – tenaillé par les « besoins les plus grossiers » et plongé dans une torpeur animale³⁴ – est chargé chez Le Roy de lieux communs d'une anthropologie spéculative de son siècle, l'image de l'homme civilisé – oisif, préoccupé des seuls besoins factices, ayant amour et vanité pour principes d'activité permanente³⁵ – dérive directement d'une représentation non moins convenue des préoccupations futiles du beau monde ou de la Cour, loin de toute référence au mode de vie de la majorité des populations des pays « policés » (environ 75 % sont des paysans, sans parler du prolétariat urbain)³⁶. Que l'homme reste plongé dans les tourments de la paresse et de l'ennui³⁷, était une opinion très répandue dans les admonestations que les moralisateurs adressaient aux élites ; que l'animal, de même que l'homme sauvage, vit libre d'inutiles désirs, plus voisin du bonheur, en fut souvent le corollaire³⁸. Les deux idées se retrouvaient fréquemment côte à côte dans la littérature thériophile, comme en témoigne déjà au XVII^e siècle le célèbre poème de Madame Deshoulières, *Les Moutons*³⁹. Chez Le Roy, le portrait de l'homme civilisé participe d'un *topos* de l'anthropologie naïve ; le sauvage se devait d'être son contraire, et l'animal n'était qu'un reflet des caractéristiques d'un tel sauvage imaginaire⁴⁰. Comme dans les raisonnements précédents,

33. Il est possible de retracer les racines de cette anthropologie jusqu'à l'histoire conjecturale de l'Antiquité (Lucrèce, Vitruve, Diodore de Sicile, Horace, etc.), voir STOCZKOWSKI, 1996.

34. Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg sur l'homme. Lettre première », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 150, l. 265-269.

35. Ch.-G. Le Roy, « Lettre V », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 108, l. 23-31.

36. Voir, p. ex., Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg sur l'homme. Lettre II », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 152, l. 16-27.

37. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 106, l. 181-184.

38. Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 94, l. 37-44 et 48-51.

39. LIGIER DE LA GARDE, 1747 ; voir d'autres exemples, in BOAS, 1933.

40. Sur la torpeur léthargique où se trouve l'animal dès qu'il a satisfait ses besoins élémentaires, voir LE ROY, 1765 ; Ch.-G. Le Roy, « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 141, l. 276-282. On trouve cette idée également chez CONDILLAC, 1981, p. 513.

la zoologie de Le Roy se révèle une fois de plus une conséquence de son anthropologie, où le jeu de miroirs entre le civilisé, le sauvage et l'animal s'érige en véritable méthode. Il est temps maintenant d'examiner cette anthropologie de plus près.

ANTHROPOLOGIE EN CREUX

Il n'est pas nécessaire de se reporter aux *Lettres sur l'homme* pour entrevoir l'idée que Le Roy se faisait de la chose humaine : son anthropologie apparaît en creux dans les *Lettres sur les animaux*. En voici quelques pièces à conviction, qui peuvent nous renseigner sur les axiomes de ce corpus structuré des savoirs.

Le Roy divise les bêtes en carnivores et frugivores, les deux classes devant correspondre non seulement à deux modes d'alimentation, mais aussi à deux « manières d'être » des animaux⁴¹. Les activités du carnassier, affirme Le Roy, le forcent à prendre une habitude de réflexion, qui étend chaque jour son intelligence ; le frugivore, lui, n'a aucun besoin de réfléchir pour vivre, aussi a-t-il moins d'idées et adopte-t-il « une conduite uniforme qui ne présente pas beaucoup de révolutions⁴² ». Le lecteur ne sera pas éclairé sur la façon dont notre chasseur-philosophe aurait mesuré le nombre d'idées chez le carnivore et chez le frugivore pour conclure que l'un en a plus que l'autre. Manifestement, la thèse ne vient pas de l'observation des animaux, mais – comme dans les cas précédemment cités – d'un ouvrage de philosophie, en l'espèce, *De l'esprit*⁴³. L'originalité de notre auteur semble avoir été de superposer l'opposition conventionnelle entre les caractères supposés de l'homme sauvage et de l'homme civilisé à celle entre les carnivores et les frugivores. La « manière d'être » de l'homme sauvage est simple, bornée à un petit nombre de sensations et d'idées : ce serait également celle des frugivores. L'homme civilisé a une manière de vivre « plus active et pleine d'intérêts, de craintes et de mouvements » ; par conséquent, il aurait plus d'idées⁴⁴. Si Le Roy considère que le frugivore pense moins que le carnassier, c'est parce que celui-ci s'oppose à celui-là comme le civilisé s'oppose au sauvage, et il va sans dire que le sauvage pense moins que le civilisé.

41. La notion de « manière d'être » est empruntée à BUFFON, 1759a, p. 244.

42. BUFFON, 1759a, p. 93-94.

43. HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. I, note a, p. 16 : « Les animaux voraces ont plus d'esprit que les autres animaux, c'est que la faim toujours inventive, a dû leur faire imaginer des ruses pour surprendre leur proie. »

44. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II », 1^{re} éd. 1762, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 84, l. 46-53.

Le Roy imagine la vie de l'animal réduite à trois efforts incessants qui correspondent à trois besoins élémentaires : « [...] la recherche de la nourriture, les précautions relatives à la sûreté, et le soin de se procurer une femelle lorsqu'il est pressé du besoin de l'amour⁴⁵. » Cette assertion, assénée d'autant plus catégoriquement qu'aucune preuve ne vient à son appui, devait revêtir aux yeux de Le Roy les apparences d'une certitude absolue. Que les hommes des Lumières se plussent à penser l'animal sauvage préoccupé exclusivement de la nourriture, des périls et de l'accouplement, semble certain, mais la genèse de cette conviction l'est moins. Il est frappant de voir que les libres penseurs du XVIII^e siècle attribuaient souvent ces trois mêmes préoccupations à l'homme sauvage et, surtout, à l'homme originel dont la vie – imaginait-on – eût été le contraire de la condition paradisiaque : puisque l'âge d'or se caractérisait par abondance de nourriture, inexistence de dangers et absence du désir sexuel, la vie sauvage, censée avoir succédé à la béatitude originelle, devait se réduire à une quête incessante de nourriture, à une omniprésence des dangers et à l'assujettissement aux passions charnelles. Cette vision, forgée d'abord dans les spéculations sur l'humanité originelle, semble avoir été ensuite projetée sur les animaux sauvages, dont la vie devenait par conséquent une sorte d'existence paradisiaque à rebours⁴⁶.

Le Roy associait, chez les animaux, l'étendue des besoins à celle des connaissances : les animaux dont la vie est restreinte à peu de besoins élémentaires devraient donc avoir peu d'idées, tandis que ceux qui sont contraints à satisfaire plus de besoins, auraient plus de connaissances acquises⁴⁷. Nulle observation n'étaye cette règle générale, mais il ne faut pas s'en étonner, car Le Roy fait appel une fois encore à une anthropologie de sens commun propre à son époque : pour accepter cette thèse concernant les animaux, on n'aurait qu'à regarder, « parmi nous, ces hommes grossiers, qui sont occupés, pendant tout le jour, à pourvoir aux besoins de première nécessité, ne restent-ils pas dans un état de stupidité presque égal à celui des bêtes⁴⁸ ? » Si cette preuve ne suffit pas, observons alors d'autres

« êtres humains qui sont forcés d'employer la plus grande partie de leur tems à la recherche de ce qui est nécessaire aux besoins de la vie, [et qui] ou ne pensent point, ou n'ont que le petit nombre d'idées relatif à la satisfaction de ces besoins ; [...] les peuples chasseurs, les Ictyophages, sont tous dans ce cas, de

45. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II », 1^{re} éd. 1762, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 86, l. 144-149.

46. STOCZKOWSKI, 1994, chap. « Transformation d'un mythe », p. 28-35.

47. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 136, l. 75-81.

48. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 141, l. 282-285.

sorte que l'exercice de l'intelligence paraît infiniment rare dans l'espèce humaine prise en général⁴⁹ ».

Et si les sauvages ont peu d'idées, alors que les civilisés en ont beaucoup, c'est que les sauvages ne connaissent que peu de besoins, tandis que les peuples policés en ont beaucoup, assure Le Roy. D'où la loi générale, inférée de l'observation de l'homme, mais qui s'appliquerait également aux animaux, et selon laquelle l'intelligence est proportionnelle au nombre de besoins.

Les différentes assertions de cette anthropologie conjecturale forment un tout cohérent et permettent à Le Roy d'expliquer aisément pourquoi les animaux, bien que perfectibles, ne font que de fort modestes inventions. Or les animaux, affirme-t-il, doivent leurs inventions principalement à leurs besoins⁵⁰ et, puisque leurs besoins sont bornés et peu nombreux, les bêtes inventent peu, mais de ce qu'elles « n'inventent point au-delà de leurs besoins, on aurait tort d'en conclure qu'elles n'inventent point du tout [...] »⁵¹. Bien qu'il puisse paraître improvisé au lecteur moderne, cet argument jouissait au XVIII^e siècle du statut respectable de lieu commun : on le trouve ainsi chez Helvétius ou chez Condillac⁵². Appliqué aux animaux, il pouvait avoir un léger goût d'innovation, mais son véritable prestige venait d'un usage canonique dans les récits des origines de l'homme, dont l'histoire raisonnée du XVIII^e siècle offre de multiples variantes qui presque toutes confèrent au besoin l'office de la cause essentielle des premières inventions humaines, depuis que Diodore de Sicile en fit cet usage dans l'anthropogénèse de sa *Bibliothèque historique*, disant que le « besoin a été le maître de l'homme » primitif⁵³. Le Roy n'ignorait pas

49. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II à madame *** », 1^{re} éd. 1802, in LE ROY, 1994, p. 195, l. 33-36, et p. 196, l. 37-39 ; voir aussi Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 104, l. 87-91 : « [...] les hommes, continuellement occupés à pourvoir à leurs besoins de première nécessité, restent dans le cercle étroit des connaissances qui y sont immédiatement relatives. Ils n'acquièrent qu'un nombre d'idées plus borné que n'en paraissent avoir quelques individus dans certaines espèces d'animaux. » Cette représentation du petit peuple, des hommes sauvages et de l'homme originel, était courante dans la littérature des Lumières, et on la trouve dès le début du siècle dans la littérature clandestine ; voir, p. ex., ANONYME, manuscrit composé après 1700, p. 441 : « Leurs besoins [ceux des premiers hommes] étant bornés, leur esprit l'était aussi et ne s'élevait pas beaucoup au-dessus de celui des bêtes. »

50. Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 100, l. 277-278.

51. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 143, l. 355-357.

52. HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. I, note a, p. 16 : « Les animaux, mieux armés, mieux vêtus que nous par la nature, ont moins de besoins, et doivent par conséquent avoir moins d'inventions [...] » CONDILLAC, 1981, p.476, soulignait, quant à lui, le lien entre l'étendue des besoins et les limites du perfectionnement des animaux.

53. DIODORE DE SICILE, 1865, p. 9.

cette fonction initiale du poncif millénaire, et trouva naturel de l'utiliser, dans une *Lettre sur l'homme*, pour élucider l'origine des premières inventions de l'homme originel (« Le besoin, ce maître universel de tous les êtres sensibles [...] »⁵⁴). Dans les *Lettres sur les animaux*, un glissement s'opère de cette anthropologie conjecturale vers une « zoologie » : la formule consacrée, dont la fonction première était de rendre compte des progrès de nos ancêtres, s'y voit remployée pour expliquer l'absence de progrès chez les animaux.

Le besoin est tout autant le maître que le tyran des êtres sensibles, car il décide de tout. Si le langage des bêtes paraît si balbutiant, c'est parce que « l'invention des mots étant bornée par le besoin qu'on en a », les bêtes s'en contentent de peu⁵⁵ ; « cela doit être, vu leur manière de vivre, puisqu'il y a des sauvages qui ont des arcs et des flèches, et dont cependant la langue n'a pas trois cents mots⁵⁶ ». Cette fois, ce fut un récit de voyage de William Dampier que notre auteur appela à la rescousse, où Helvétius aurait trouvé avant lui l'information qu'il existait des « nations sauvages qui n'ont pas deux cents idées, deux cents mots pour exprimer leurs idées, et dont la langue, par conséquent, [serait] réduite comme celle des animaux, à cinq ou six sons ou cris, si l'on retranchoit de cette même langue les mots d'arcs, de flèches, de filets, etc.⁵⁷ ».

Si l'intelligence et les progrès sont proportionnels aux besoins, il faut alors s'attendre à trouver une intelligence supérieure et moult progrès chez les animaux faibles, dont cette même faiblesse multiplie les besoins élémentaires⁵⁸. Ce ne fut pas pour Le Roy une hypothèse à vérifier par l'observation mais une certitude, illustrée par le lièvre et le lapin – ces personnifications proverbiales de la faiblesse et de la timidité –, sans que notre auteur songeât à évoquer le cas de la souris, par exemple, certainement plus désarmée encore que ne l'est le lapin, et qui devrait à ce titre être encore plus intelligente, mais qui ne fut pas citée en la circonstance car le bestiaire populaire l'associait à d'autres particularités. Que le lapin soit la faiblesse même, est un poncif de sens commun ; que la faiblesse se traduise par des progrès, en est un autre, tout aussi vénérable car aussi ancien. Depuis le récit de Protagoras qui conte, chez Platon, l'origine de la singularité culturelle de l'homme parmi les animaux, résultant d'un partage inégal des dons et facultés, qui laissa notre espèce nue, sans

54. Ch.-G. Le Roy, « Lettre du physicien de Nuremberg sur l'homme. Lettre première », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 148, l. 171.

55. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VI », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 113, l. 218-219.

56. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VII », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 141, l. 308-309.

57. HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. I, p. 17 ; DAMPIER, 1698.

58. Ch.-G. Le Roy, « Lettre III », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 98, l. 209-210.

chaussures, sans couvertures, sans armes naturelles⁵⁹, l'idée de la faiblesse naturelle de l'homme en tant qu'impératif de son perfectionnement culturel n'a eu de cesse de resurgir dans des sommes théologiques, traités médicaux, ouvrages naturalistes, essais philosophiques et articles scientifiques, en toutes sortes de circonstances, comme il sied à un véritable *locus communis*⁶⁰. Alors que ce *topos* d'origine platonicienne affirme que les inventions de l'homme proviennent de son indigence naturelle, Le Roy assure que ce sont justement les vêtements et les armes naturelles dont les animaux sont pourvus qui leur interdisent de faire des inventions. Ainsi, l'argument anthropologique servant à expliquer l'origine de la culture chez l'homme se trouve inversé, dans le but d'expliquer l'absence de culture chez les animaux. Et Le Roy d'ajouter, pour apporter la preuve définitive, elle aussi anthropologique : « Les peuples qui peuvent se passer d'habit, sont en général plus stupides que les autres, parce qu'ils manquent d'un besoin qui devient bientôt la source d'un grand nombre d'inventions et d'arts⁶¹. »

Un dernier exemple va clore cette énumération. Les partisans de l'automatisme des animaux avaient l'usage d'arguer que, si les bêtes étaient intelligentes et perfectibles comme les hommes, « leurs ouvrages devraient être variés comme les nôtres⁶² ». En effet, acquiesce Le Roy, la perfectibilité aurait dû permettre à certaines espèces animales, qui jouissent de circonstances favorables, de s'élever à un état supérieur ; « [o]n les verrait alors policés dans un lieu, plus ou moins sauvages dans un autre, montrer dans les mœurs des différences marquées : c'est ce que nous n'apercevons pas⁶³ ». Destiné à mettre à mal la thèse de la perfectibilité animale, l'argument était tributaire d'un axiome anthropologique que les hommes du XVIII^e siècle acceptaient d'un allant de soi et qui deviendra, au siècle suivant, une des pierres angulaires des théories évolutionnistes en anthropologie : les différences culturelles entre les

59. PLATON, 1950, p. 309-346.

60. STOCZKOWSKI, 1994, p. 92-96. HELVÉTIUS, 1988, discours I, chap. I, note a, p. 16, y fit aussi appel, mais on ignore si c'est à lui que Le Roy a emprunté cette idée alors très commune.

61. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 106-107, l. 195-198.

62. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VI », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 121, l. 306-309. Voir, p. ex., PLUCHE, 1746, p. 126-129 : « Une impression invincible et uniforme les ramène [les animaux] là et les conduit sans raisonnement à produire des ouvrages qui ne varient point. S'ils raisonnaient, leurs ouvrages seraient variés comme leurs raisonnements » ; POLIGNAC, 1749, p. 211 : « Si un être capable de choisir et de méditer, qui connût et ses propres forces et leur usage, résidait dans les animaux, ils ne seraient pas toujours bornés à la même méthode. Une altération insensible changerait les mœurs qu'ils tiennent de la nature ; on verrait ces mœurs sujettes à toutes les variations que produisent la réflexion, l'expérience et la liberté. »

63. Ch.-G. Le Roy, « Lettre IV », 1^{re} éd. 1764, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 102, l. 11-16.

peuples résultent d'écart dans leur développement. Ces différences découleraient donc de la perfectibilité humaine. Par conséquent, si les animaux étaient perfectibles, leurs modes de vie devraient être eux aussi marqués de différences « culturelles » engendrées par les progrès inégaux des espèces. Puisque l'argument était anthropologique, Le Roy lui opposa un contre-argument du même genre. Dans la sixième *Lettre sur les animaux*, il se borne encore à remarquer que l'uniformité des ouvrages et des actions des animaux n'était pas si grande qu'elle paraissait au premier abord, tandis que celle des ouvrages des hommes était plus ample que l'on ne voulût bien l'admettre⁶⁴. Dans un texte plus tardif, publié à titre posthume, le contre-argument est renforcé, mais non pas dans sa partie « zoologique », ce qui aurait demandé d'illustrer la différenciation des ouvrages et des comportements des animaux, mais dans sa partie anthropologique : Le Roy déploie son érudition ethnographique, dont il est redevable principalement à des récits de voyages et à l'histoire conjecturale, pour clamer, en premier lieu, que les différences culturelles entre les hommes sont moindres qu'on ne le pense et, en second lieu, qu'il existe de profondes similitudes, jusque dans des pratiques les plus insolites, entre les peuples des pays et des siècles les plus éloignés les uns des autres. L'inflexible nature humaine se manifesterait à travers cette omniprésente uniformité : obéissant à leurs dispositions naturelles, les peuples de toutes les parties du monde accompliraient les progrès dans le même ordre, et s'ils sont différents, c'est accessoirement, uniquement parce qu'ils avanceraient à des vitesses différentes sur la même voie du perfectionnement. Pour corroborer la thèse que les animaux sont perfectibles et que leurs « ouvrages » sont variés, Le Roy préféra parler non pas des animaux, mais des hommes, en tâchant de démontrer que les ouvrages de ces derniers ne varient que modérément⁶⁵.

On pourrait fournir encore d'autres exemples pour illustrer des substitutions logiques que Le Roy pratiquait, toujours aussi adroit lorsqu'il s'agissait d'insérer des arguments anthropologiques dans les raisonnements sur les animaux. Ceux que nous avons jusqu'à présent analysés suffisent pour nous éloigner sensiblement de l'image que l'historiographie traditionnelle avait tenu à donner de Le Roy, peint en pur observateur de la Nature, qui – comme il l'assurait lui-même – « a fait dans les bois son cours de philosophie⁶⁶ ».

64. Ch.-G. Le Roy, « Lettre VI », 1^{re} éd. 1768, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 120, l. 306-315, et p. 122, l. 320-323. À cette occasion, Le Roy reprend – et déforme – un contre-argument proposé par CONDILLAC, 1981, 2^e part., chap. III, p. 478-480.

65. Ch.-G. Le Roy, « Lettre II à madame *** », 1^{re} éd. 1802, in LE ROY, 1994, p. 197-204, voir surtout l. 103-109, 166-167, 212-215, et 380-388.

66. Ch.-G. Le Roy, « Lettre d'envoi à madame *** », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 77, l. 15-16.

En réalité, il n'est pas rare que sa véritable démarche se distingue à peine de la spéculation philosophique qui expliquait « la nature sans l'avoir observée », comme le déplorait Condillac (qui ne l'avait pas observée non plus). Chez Le Roy, même l'éloge de l'empirisme et la critique des philosophes sont faits de *topoi* empruntés à des philosophes⁶⁷.

Rien d'ailleurs d'étrange dans ce décalage entre les déclarations de principe et le véritable contenu des raisonnements de Le Roy. Similaire en cela à beaucoup d'autres penseurs qui excellaient davantage dans le travail intellectuel que dans le commentaire réflexif de ce travail, il ne disait pas ce qu'il faisait réellement et ne faisait réellement ce qu'il disait. Certes, on ne manque guère de bonnes raisons pour voir en Le Roy l'un des premiers éthologues-empiristes, car il savait observer les animaux et faire un usage ingénieux d'observations avérées ou rapportées par autrui comme véridiques. Cependant, on peut également voir en lui un philosophe-spéculateur, apte à soumettre des postulats de sens commun à un traitement rhétorique qui leur confère l'apparence de conclusions inférées exclusivement de l'observation. À ne pas en douter, l'un des plus grands talents de Le Roy était de savoir assembler de nombreux lieux communs, d'en faire des raisonnements cohérents et d'agrémenter ceux-ci de données factuelles de façon à persuader le lecteur – ou à se persuader lui-même – que l'observation des animaux est la base de l'ensemble.

La liste non exhaustive de ces poncifs, qui vient d'être dressée, a permis de montrer l'importance, dans les *Lettres sur les animaux*, d'une anthropologie conjecturale qui avait tous les suffrages des philosophes des Lumières, car ce fut celle d'un sens commun qu'ils partageaient et dont les prémisses nous frappent aujourd'hui par leur aspect exotique et insolite, signe manifeste que ce sens commun, historiquement circonscrit, n'est plus le nôtre, ce qui le distingue du « bon sens » universellement partagé. Il m'a semblé nécessaire de mettre au jour la portée d'une telle anthropologie de sens commun dans la construction, au XVIII^e siècle, des savoirs zoologiques qui ambitionnaient d'être fondés sur l'observation des animaux, et qui auraient pu l'être car, en l'occurrence, il était plus facile à un chasseur des Lumières de s'instruire de la vie des bêtes en les étudiant dans les forêts de sa paroisse que de la vie des hommes de la planète entière, civilisés et sauvages, qu'il ne pouvait observer.

Condillac disait qu'il « seroit peu curieux de savoir ce que sont les bêtes, si ce n'était pas un moyen de connaître mieux ce que nous sommes⁶⁸ ». Le cas de Le Roy montre qu'au XVIII^e siècle il arrivait également que la connaissance de l'homme fût un moyen de savoir ce que sont les bêtes. Pour élargir la portée de cette ponctuelle conclusion historique, on pourrait être tenté de

67. CONDILLAC, 1981, p. 431-432, et 471, et Ch.-G. Le Roy, « Lettre d'envoi à madame *** », 1^{re} éd. 1781, d'après l'éd. de 1802, in LE ROY, 1994, p. 77, l. 15-16.

68. CONDILLAC, 1981, p. 429.

paraphraser Condillac et de dire qu'il serait peu curieux de savoir ce que pensaient les hommes du passé, si ce n'était pas un moyen de mieux connaître la façon dont nous pensons aujourd'hui. Les historiens affichent peu d'estime pour un tel usage des résultats de l'enquête historique, parce qu'ils redoutent que le désir de tirer des enseignements de l'étude du passé ne conduise irrémédiablement à le mutiler, le faisant entrer dans le moule des préoccupations du présent. Pourtant, l'approche *historiciste*, qui est un idéal méthodologique, n'est pas nécessairement l'antinomie du *présentisme*, lié à l'une des finalités possibles de l'enquête historique, à condition, bien évidemment, que l'usage *présentiste* de l'histoire soit consécutif à l'étude *historiciste* du passé. C'est dans cette perspective que ma relecture *historiciste* des textes de Le Roy, où se profile une singulière *anthropologie des animaux*, pourrait devenir un prétexte pour poser une question *présentiste* et pour interroger, consécutivement, des travaux plus récents de naturalistes.

Il faut en effet remarquer qu'un certain nombre d'éthologues modernes ont laissé, comme Le Roy, leurs propres *Lettres sur l'homme* spéculatives, présentées comme un aboutissement logique de *Lettres sur les animaux*, celles-ci réputées empiriques et scientifiques. Il est rare qu'on étudie ensemble les unes et les autres, car elles sont censées appartenir à des genres différents. Pourtant, des liens très forts y apparaissent en filigrane entre l'anthropologie et la zoologie. Chez Konrad Lorenz – pour ne prendre qu'un seul exemple, extrême sans doute, voire caricatural, mais nullement exceptionnel – on est surpris de voir jusqu'à quel point la représentation de l'animal et de son comportement correspond à l'image que l'auteur peint par ailleurs du sauvage et de l'homme préhistorique, l'un comme l'autre dignes d'une anthropologie qui, au XVIII^e siècle, méritait le nom de conjecturale, mais qui à notre époque ne saurait être qualifiée que d'ingénue⁶⁹. On ne peut douter que les essais sur l'homme de Lorenz restent en rapport avec son œuvre d'éthologue, mais il serait tout aussi intéressant de savoir combien son anthropologie a pu conditionner ses théories éthologiques. On se pose la même question en lisant Nikolas Tinbergen, Sherwood Wasburn, Jane Goodall, Barbara Smuts, Frans de Waal, et tant d'autres. L'hypothèse mérite d'être vérifiée selon laquelle l'*anthropologie des animaux* serait l'une des plus vieilles disciplines de nos sciences naturelles, encore aujourd'hui en vogue, sans que nous nous en soyons aperçus. Qu'il s'agisse là d'une anthropologie, passe encore, puisqu'il n'est pas interdit de penser qu'un usage inventif de l'anthropologie savante puisse conduire à un fertile programme de recherche en éthologie, comme semble le suggérer Dominique Lestel⁷⁰. En revanche, qu'il s'agisse d'une anthropologie naïve change tout, car les savoirs éthologiques ainsi construits

69. Voir, p. ex., LORENZ, 1973, p. 65-67.

70. LESTEL, 2001.

perdent de leur intérêt pour celui qui voudrait s'instruire sur les animaux, cependant qu'ils deviennent un objet de recherche intéressant pour l'ethnologue désireux de comprendre l'élaboration des savoirs de sens commun.

Wiktor STOCZKOWSKI
(septembre 1999).

LISTE DES RÉFÉRENCES

- ANONYME (composé après 1700), *Recherches curieuses de philosophie, etc.* par T. S. J. F., imprimé à Londres aux dépens de la Compagnie, 1713, trad. en 1714, Bibliothèque nationale de France, ms., fr. 9107.
- BARRY (René), 1660, *La Fine Philosophie accommodée à l'intelligence des dames*, Paris.
- BOAS (George), 1933, *The Happy Beast in French thought of the seventeenth century*, Baltimore, MD, The Johns Hopkins Press.
- BOSSUET (Jacques-Bénigne), 1722, *Introduction à la philosophie, ou De la connoissance de Dieu et de soi-mesme*, Paris, Gabriel Amaury.
- BUFFON (Georges Louis Leclerc, comte de), 1759a, « Discours sur la nature des animaux », 1^{re} éd. Paris, 1753, in ID., *Histoire naturelle*, Paris, Imprimerie royale, vol. V, p. 241-395.
- BUFFON (G. L. Leclerc, comte de), 1759b, « Le lapin », 1^{re} éd. Paris, 1756, in ID., *Histoire naturelle*, Paris, Imprimerie royale, vol. VII, p. 121-132.
- BUFFON (G. L. Leclerc, comte de), 1759c, « Les animaux sauvages », 1^{re} éd. Paris, 1756, in ID., *Histoire naturelle*, Paris, Imprimerie royale, vol. VII, p. 1-12.
- CONDILLAC (Étienne Bonnot, abbé de), 1981, *Traité des animaux*, 1^{re} éd. Paris, 1755, ici d'après l'éd. de 1796, Paris, Vrin.
- DAMPIER (William), 1698, *Nouveau voyage autour du monde*, Amsterdam, P. Marret.
- DIODORÉ DE SICILE, 1865, *Bibliothèque historique*, trad. Ferdinand HOEFER, Paris, Hachette.
- FONTENAY (Élisabeth de), 1998, « Le chasseur des Lumières », in ID., *Le Silence des bêtes. La philosophie à l'épreuve de l'animalité*, Paris, Fayard (Histoire de la pensée, 26), p. 465-478.
- HELVÉTIUS (Claude Adrien), 1988, *De l'esprit*, 1^{re} éd. Paris, 1758, ici Paris, Fayard (Corpus des œuvres de philosophie en langue française).
- LE ROY (Charles-Georges), 1765, « Instinct », in *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers par une Société de gens de lettres mis en ordre par M. Diderot et quant à la partie mathématique par M. d'Alembert*, Neuchastel, Samuel Fauluche & Compagnie, t. VIII, p. 795-799.
- LE ROY (C.-G.), 1994, *Lettres sur les animaux*, éd. par Élisabeth ANDERSON, Oxford, The Voltaire Foundation.
- LESTEL (Dominique), 2001, *Les Origines animales de la culture*, Paris, Flammarion.
- LIGIER DE LA GARDE (Antoinette du) [Madame Deshoulières], 1747, « Les Moutons. Idylle, 1674 », in *Œuvres de Madame et de Mademoiselle Deshoulières, nouvelle édition*, Paris, David l'Aîné, vol. I, p. 27-28.
- LORENZ (Konrad), 1973, *Les Huit Péchés capitaux de notre civilisation*, 1^{re} éd. allemande Munich, 1973, ici Paris, Flammarion.

- PLATON, 1950, *Protagoras*, 320d-322d, ici in *Platon. Œuvres complètes*, trad. par Léon ROBIN, Paris, Gallimard (Bibliothèque de la Pléiade), vol. I, p. 309-346.
- PLUCHE (Noël-Antoine), 1746, *Spectacle de la nature, ou entretiens sur les particularités de l'histoire naturelle. Tome cinquième, concernant ce qui regarde l'Homme considéré en lui-même*, Paris, Veuve Estienne & Fils, t. V.
- POLIGNAC (Melchior, cardinal de), 1749, *L'Anti-Lucrèce. Poème sur la religion naturelle*, Paris, Desaint et Saillant.
- ROUSSEAU (Jean-Jacques), 1959, « Ébauches des *Confessions* », in GAGNEBIN (Bernard), OSMONT (Robert) et RAYMOND (Marcel), éd., *Jean-Jacques Rousseau. Œuvres complètes*, Paris, Gallimard (Bibliothèque de la Pléiade), vol. I, p. 1147-1164.
- STOCZKOWSKI (Wiktor), 1994, *Anthropologie naïve, anthropologie savante. De l'origine de l'homme, de l'imagination et des idées reçues*, Paris, CNRS-Éditions.
- STOCZKOWSKI (W.), 1996, *Aux origines de l'humanité. Anthologie*, Paris, Pocket.
- STOCZKOWSKI (W.), 1997, « Lamarck, l'homme et le singe », in LAURENT (Goulven), éd., *Jean-Baptiste Lamarck, 1744-1829*, Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques, p. 447-466.
- VOINOVITSCH (Vladimir), 1975, *Zizn i nieobitschajnyie priklutshenia soldata Tschonkina* (La vie et les aventures extraordinaires du soldat Tschonkine), Paris, Ymca-Press.

LA TRAME DE LA LOGIQUE FLOUE ET L'USURE DU TEMPS*

Caroline EHRHARDT

Les sciences déductives étaient jusqu'à présent restées à l'écart du renouveau apporté par les approches sociologiques à l'étude des sciences contemporaines¹. L'ouvrage de Claude Rosental les sort de leur isolement en s'attachant à mettre en évidence, par une enquête sociologique, le processus d'accréditation d'un théorème de logique mathématique : le théorème d'Elkan. L'ouvrage ne se réduit cependant pas à une étude empirique : la nouveauté de l'objet impose à l'auteur de développer un cadre méthodologique et des outils inédits pour le décrire. *La Trame de l'évidence* s'avère ainsi être un ouvrage magistral fort réussi, qui ouvre de nouvelles perspectives quant à l'analyse des pratiques mathématiques.

Le livre s'ouvre sur une étude historiographique où sont répertoriés et analysés quelques travaux d'inspiration sociologique consacrés aux sciences déductives. Selon Rosental, à une littérature philosophique considérable qui traite d'une logique idéalisée, conçue comme science du raisonnement, la sociologie des sciences s'est contentée d'opposer une discussion de principe portant sur l'existence de plusieurs logiques discordantes rattachées à des facteurs historiques et culturels distincts². La logique considérée comme une activité mathématique particulière a fait l'objet d'études de textes qui cherchent à faire apparaître le raisonnement de leur auteur en le considérant comme une pratique conceptuelle³ ; le travail logique et celui des logiciens demeurent le plus souvent idéalisés par les sociologues, puisqu'ils ne sont envisagés qu'à titre de processus immatériels et solitaires⁴. Des pistes de recherche sont cependant fournies par l'étude des pratiques concrètes liées au travail d'abstraction⁵ ou encore, par celle du rôle joué par l'enseignement dans

* À propos de : Claude ROSENAL, *La Trame de l'évidence. Sociologie de la démonstration en logique*, Paris, Presses universitaires de France, 2003, 15 × 22, 367 p., index (Sciences, modernités, philosophies).

1. À côté de l'imposante littérature consacrée aux sciences expérimentales, les analyses concernant les mathématiques et la logique restent marginales. On peut néanmoins citer les travaux de MACKENZIE, 1993.

2. ROSENAL, 2003, p. 42-51, à propos de BLOOR, 1982 ; ROSENAL, 2003, p. 67, à propos de NYE, 1990. Notons cependant ici que ces ouvrages traitent de la logique en la considérant comme une science du raisonnement et non comme discipline mathématique.

3. ROSENAL, 2003, p. 51-53, à propos de PICKERING et STEPHANIDES, 1992.

4. ROSENAL, 2003, p. 68-71, à propos de LIVINGSTON, 1985.

5. ROSENAL, 2003, p. 58-61, à propos de BRIAN, 1994.

la constitution de savoirs et savoir-faire tacites en mathématique⁶. De plus, les études réalisées par des mathématiciens professionnels soulignent l'existence d'arguments extra-mathématiques dans les processus d'évaluation des démonstrations⁷.

La première partie de l'ouvrage de Rosental s'achève sur la description du forum électronique dans lequel se sont déroulés les débats autour du théorème d'Elkan et sur le compte rendu d'une enquête réalisée en 1992 sur l'enseignement de la logique. Ces deux études préliminaires visent à familiariser le lecteur avec le vocabulaire logique et le fonctionnement du forum ; l'auteur s'attache également à mettre en évidence les aspects les plus concrets du débat sur Internet (saisie manuelle des textes, processus d'archivage et de filtrage...⁸) et à dégager les pratiques propres à cette forme d'apprentissage de la logique⁹.

L'enquête de Claude Rosental porte sur un résultat publié en 1993 par l'universitaire californien Charles Elkan à l'occasion d'un colloque sur l'intelligence artificielle ; l'article de ce chercheur, intitulé « The paradoxal success of fuzzy logic¹⁰ », visait à remettre en cause une théorie logique appelée « logique floue », en démontrant que celle-ci se réduisait en fait à la logique binaire classique. Rosental s'attache à étudier la controverse provoquée par ce résultat sur une durée d'environ un an, ainsi que les différentes phases de l'élaboration de l'article d'Elkan. La deuxième partie de *La Trame de l'évidence* est entièrement consacrée à la controverse qui s'est déroulée sur le forum électronique « comp.ai.fuzzy » à propos de l'article d'Elkan entre août 1993 et août 1994. Rosental examine tout d'abord les messages relatifs à la validité et à la valeur de la preuve (chap. III) qui mettent en jeu des démonstrations formelles, puis porte son attention sur les autres types d'arguments qui interviennent dans le débat (chap. IV).

Le premier constat dressé par l'auteur est celui d'un « corpus cacophonique », où les intervenants partagent un mode de questionnement et un vocabulaire communs (ce qui conforte l'hypothèse formulée précédemment d'une certaine homogénéité des savoirs tacites), sans pour autant s'accorder sur la validité de la démonstration d'Elkan ni sur la nature de l'erreur qu'il a commise. La logique floue ne fait l'objet d'aucune définition consensuelle, et les acteurs mobilisent des axiomatiques concurrentes, prenant en compte ou non certains principes fondamentaux (comme celui du tiers exclu¹¹). L'attention de l'auteur se porte ensuite sur les modalités matérielles des interventions ; il s'agit d'actes d'écriture concrets visant à produire de nouveaux textes démonstratifs et à reformuler la preuve d'Elkan en « faisant apparaître » certains principes logiques entre les lignes : les auteurs essaient de convaincre de l'utilisation implicite du principe du tiers exclu ou encore de celui de distributivité en les énonçant au sein même de la démonstration

6. ROSENTAL, 2003, p. 53-56, à propos de WARWICK, 1992 et 1993.

7. ROSENTAL, 2003, p. 61-66, à propos de DAVIS et HERSH, 1981.

8. ROSENTAL, 2003, p. 81-86.

9. ROSENTAL, 2003, p. 86-105.

10. ELKAN, 1993.

11. ROSENTAL, 2003, p. 109-133.

et en explicitant leur utilisation dans son déroulement. De telles pratiques ne constituant pas selon Rosental des démonstrations au sens mathématique du terme, il les définit comme des pratiques de « dé-monstrations » pour souligner le caractère visuel des argumentations produites. Il montre ensuite qu'elles ont pour effet des ajustements constants du statut de la preuve d'Elkan et de celui de ses substituts¹². La dimension visuelle de la controverse sur le forum se manifeste également par des stratégies de visibilité des messages : certaines traductions de la démonstration originelle, reproduites dans d'autres messages ou accessibles grâce à des liens hypertexte, offrent un accès privilégié aux intervenants qui n'ont pas eu le temps ou la possibilité de se procurer l'article d'Elkan. Du fait de contraintes temporelles et matérielles éprouvées par les protagonistes, les points de vue sur l'article initial sont donc structurés par les transpositions induites par de tels messages¹³.

Les débats sur l'article d'Elkan ne se limitent cependant pas au domaine de la logique « pure » : certaines interventions portent sur les applications de la logique floue, d'autres sur l'hostilité des chercheurs en intelligence artificielle à cette logique, d'autres enfin mettent l'accent sur les particularités culturelles de cette théorie, qu'ils rattachent à un mode de pensée qualifié d'oriental. En analysant ces messages et les réponses qu'Elkan leur adresse, Rosental met ici en évidence un grand nombre de registres « dé-monstratifs » combinés dans les textes des intervenants, dont il explique la variété par la multiplicité des points de vue concernant la logique floue et des domaines technologiques dans lesquels elle intervient¹⁴.

Après l'étude locale et à court terme de la controverse sur le forum Internet, Rosental élargit son champ d'investigation dans la troisième partie de l'ouvrage : il s'agit désormais de situer les messages du forum par rapport à des dynamiques à plus long terme concernant l'ensemble des acteurs de la logique floue. Le chapitre v a ainsi pour objet de retracer l'historique de la publication d'Elkan ; à cet effet, l'auteur a recours à des entretiens avec des chercheurs en logique floue et à des observations lors d'un colloque sur cette théorie. Il met ainsi en lumière l'importance du « travail d'accompagnement » auquel se livrent les acteurs afin de défendre leurs « dé-monstrations », en reformulant leurs thèses ou en cherchant à mettre en avant leur point de vue¹⁵. Plus encore, la préparation d'un article n'apparaît pas comme une activité solitaire, mais au contraire comme soumise à de nombreuses interactions : les représentations qu'a Elkan de la logique floue sont en fait confortées par le grand nombre d'acteurs qui partagent son point de vue¹⁶. Enfin, le processus de sélection des articles lors des colloques ne répond pas à des critères absolus de validité des preuves : aux dires des acteurs eux-mêmes, il est conditionné par le savoir-faire des rapporteurs, l'instauration de quotas ou encore les objectifs du colloque¹⁷.

12. ROSENTAL, 2003, p. 133-149.

13. ROSENTAL, 2003, p. 149-156.

14. ROSENTAL, 2003, p. 157-197.

15. ROSENTAL, 2003, p. 202-215.

16. ROSENTAL, 2003, p. 215-228.

17. ROSENTAL, 2003, p. 228-248.

Les deux derniers chapitres de l'ouvrage rendent compte de la clôture de la controverse et de l'accréditation du théorème. Le déplacement du débat vers des revues en modifie la dynamique : à la multiplicité des points de vue fait place la riposte structurée d'un groupe de chercheurs considérés comme les porte-parole de la logique floue, et dont l'intervention se situe dans le contexte plus large d'une opposition commune à une certaine définition de cette théorie, antérieure à l'article d'Elkan¹⁸. Ces chercheurs, habitués à répondre aux critiques à propos de leur discipline, n'ont pas eu à improviser de réponses nouvelles et propres aux discussions sur le théorème d'Elkan, alors que celui-ci avait tendance à personnaliser ses interventions afin d'obtenir des points d'accord locaux. De plus, la comparaison des différentes versions de l'article permet à Rosental de mettre en évidence les corrections apportées à la suite des débats, visant à rendre la preuve plus résistante aux critiques. L'auteur met également en lumière une stratégie d'écriture particulière : Elkan joue sur la polysémie des expressions employées pour limiter les possibilités de conflit tout en ralliant à ses thèses des lecteurs ayant des points de vue divergents¹⁹. Au final, la clôture de la controverse ne s'accompagne pas d'un véritable consensus, ni de la victoire d'un camp sur l'autre : l'accord sur la validité du théorème d'Elkan repose en fait sur les représentations très diverses de la preuve qu'autorise la polysémie du texte. Ainsi, pour Rosental, la validité de ce théorème constitue non pas un énoncé universel mais « un énoncé collectif²⁰ ».

Les analyses sociologiques concernant les sciences déductives étant très peu nombreuses, l'un des premiers mérites du livre est de fournir une telle enquête sur une activité scientifique, la logique, réputée immatérielle et strictement individuelle, donc inobservable par le sociologue. À cet effet, Rosental s'attache à mettre en évidence la dimension collective et matérielle de l'activité : de nombreux échanges ont lieu entre les acteurs, que ce soit à l'écrit ou à l'oral, et des dispositifs matériels (ordinateurs, tableaux...) entrent en jeu. L'étude accorde également une importance particulière aux pratiques concrètes auxquelles se livrent les acteurs, y compris dans les détails précis des démonstrations, tout en s'interdisant de donner une définition restrictive de ce qu'est « la » logique. À la suite de ses observations, Rosental met ainsi en lumière une image inhabituelle de cette science, plus proche de la description que font les mathématiciens professionnels de leur travail quotidien que de celle des enquêtes normatives : il s'agit d'une activité démonstrative concrète réalisée essentiellement par écrit. La pratique logique n'est pas envisagée ici comme une succession de raisonnements abstraits que l'on couche ensuite sur le papier : à la suite de Jack Goody (et d'Éric Brian), Claude Rosental affirme que l'acte d'écriture participe pleinement à la production des objets logiques²¹.

18. ROSENTAL, 2003, p. 249-264.

19. ROSENTAL, 2003, p. 280-316.

20. ROSENTAL, 2003, p. 316-331. Pour la notion d'énoncé collectif, l'auteur se réfère ici à BOUREAU, 1989. On peut également consulter GOLDSTEIN, 1989.

21. ROSENTAL, 2003, p. 145.

En considérant la logique comme un objet sociologique à part entière, Rosental parvient également à démontrer que la validité d'une preuve logique ne découle pas seulement de sa présentation formelle ; de même, cette validité n'est pas non plus garante de la reconnaissance de la démonstration par la communauté des chercheurs²². Enfin, la logique elle-même n'est pas considérée ici comme un dispositif transparent : elle n'est pas donnée d'avance parmi les acteurs et une partie de leur activité réside dans la négociation de sa définition et de ses propriétés. Notons ici que, si l'approche envisagée est différente, les conclusions de l'auteur sur la mise en suspens de l'universalité des formes de démonstrations et sur la matérialité des sciences déductives rejoignent en partie celles de certains travaux récents en histoire des mathématiques²³. À l'inverse de ces approches, le processus d'accréditation du théorème analysé par Rosental semble toutefois laisser de côté les propriétés de la logique qui ne relèveraient pas de la pratique, comme par exemple sa vocation à l'universalité²⁴. Par contre, les conclusions de l'auteur atténuent largement les différences supposées et presque toujours ininterrogées dans l'étude des sciences entre sciences déductives et sciences expérimentales et lui permettent, après avoir précisé ce en quoi consistent les pratiques logiques, de s'inspirer de la méthodologie de la sociologie des sciences.

La Trame de l'évidence apparaît en effet davantage comme un ouvrage de sociologie ou d'ethnologie des pratiques scientifiques que comme une étude portant sur la logique considérée comme une science déductive, la spécificité de l'objet n'intervenant ici que dans la mesure où il s'agit de rendre compte de pratiques théoriques d'abstraction et non de pratiques expérimentales. Cet ouvrage rejoint les principes directeurs de la sociologie des pratiques scientifiques à plusieurs niveaux. D'une part, en s'intéressant au processus d'accréditation d'un théorème, Rosental étudie un phénomène scientifique encore incertain, c'est-à-dire « en train de se faire », pour reprendre une expression ambiguë commune à l'épistémologie et à la sociologie, que l'auteur considère ici à la manière de Bruno Latour²⁵. D'autre part, son analyse vise à saisir la diversité des acteurs et des démarches qui concourent à l'accréditation du théorème : l'auteur ne raisonne pas en termes de groupes de chercheurs, mais accorde une place importante à l'identité des acteurs, en insistant sur les positions inégales qu'ils occupent, sur la multiplicité des interprétations et sur la personnalisation de certains échanges. Notons cependant que, dans la partie consacrée au forum de discussion sur Internet, tous les intervenants sont également pris au sérieux par le sociologue. En outre, de même que l'ethno-méthodologie des sciences ne considère pas la nature et la réalité comme des données préexistantes que le scientifique entend décrire, Rosental se garde de poser par avance une définition de ce que serait la logique²⁶ : celle-ci fait au

22. ROSENTAL, 2003, p. 109-133, 202-215 et 228-248.

23. À ce propos, sur les périodes moderne et contemporaine, voir par exemple les travaux de BRIAN, 1994 et 1995 ; CIFOLETTI, 1995 et 1998 ; GOLDSTEIN, 1989 et 1995.

24. Nous nous appuyons ici sur CIFOLETTI, 1998.

25. LATOUR, 1989.

26. ROSENTAL, 2003, p. 14.

contraire l'objet de définitions multiples, constamment renégociées par les interventions des acteurs²⁷.

À la suite de Bruno Latour et Steve Woolgar²⁸, Claude Rosental insiste ainsi sur l'importance des pratiques de lecture et d'écriture ; de même, la mise en évidence de la coexistence de différents types de « dé-monstrations » rappelle les résultats avancés par Karin Knorr-Cetina²⁹ à propos des raisonnements des chercheurs : ceux-ci ne reposent pas exclusivement sur des arguments rationnels, et font au contraire intervenir des éléments aussi variés que l'exhibition des dispositifs fonctionnant grâce à la logique floue, la thèse du complot contre cette logique ou l'appel à la confiance du lecteur³⁰.

Si l'ouvrage de Claude Rosental présente de nombreux points communs avec l'ethnométhodologie des sciences, il s'en distingue néanmoins par certains aspects importants. Certes, l'analyse de Rosental rompt avec la dichotomie entre facteurs sociaux et cognitifs, comme le fait l'ethnométhodologie des sciences, mais en allant plus loin : la démonstration d'Elkan est envisagée comme un quasi-objet, ce qui autorise l'auteur à saisir l'autonomie relative de l'objet logique considéré et les éléments d'hétéronomie qu'il comporte ainsi³¹. L'auteur parvient en outre à traiter dans un même mouvement les deux aspects, en montrant que des représentations de la logique et des coalitions d'acteurs se stabilisent simultanément au cours du processus. Enfin, on retrouve dans *La Trame de l'évidence* certains thèmes centraux des recherches ethnométhodologiques antérieures. De plus, les analyses de Rosental ne reposent pas exclusivement sur les observations des acteurs, l'une des sources les plus importantes de l'auteur étant le dépouillement des archives du forum « comp.ai.fuzzy ». Par ailleurs, l'auteur n'affiche pas une ignorance délibérée de la logique floue en tant que science : son enquête est informée solidement en logique et en mathématiques³². Il nous semble également important de noter que si l'étude de Rosental s'apparente à une analyse de controverse, elle évite cependant une lecture relativiste sociale de la stabilisation de ce théorème : la validation du théorème repose sur les ajustements successifs qu'il a subis et non sur des facteurs supposés externes.

La Trame de l'évidence réalise le tour de force d'adapter un questionnement jusqu'ici réservé aux sciences expérimentales à la production d'énoncés logiques. L'auteur insiste d'ailleurs à de nombreuses reprises sur les représentations largement répandues de cette discipline en tant qu'activité abstraite et immatérielle, qu'il oppose aux similarités soulignées par son étude entre pratiques expérimentales et théoriques : la démarche adoptée tend à atténuer plutôt qu'à préciser les spécificités de son objet d'étude. Rosental n'affronte cependant pas ici le corps le

27. ROSENTAL, 2003, p. 117-129 et 157-168.

28. LATOUR et WOOLGAR, 1988.

29. KNORR-CETINA, 1981.

30. ROSENTAL, 2003, p. 194-195.

31. ROSENTAL, 2003, p. 281-289.

32. Il précise cependant que celle-ci aurait constitué un « handicap » sans la formation reçue parallèlement en sociologie des sciences expérimentales. ROSENTAL, 2003, p. 14.

plus abstrait de la logique formelle, et donc ce qu'on envisage comme le « noyau dur » des sciences déductives : en effet, la logique floue connaît de nombreuses applications informatiques et technologiques, ce qui ancre la discipline dans la « réalité concrète » (il est d'ailleurs aujourd'hui banal d'utiliser un lave-linge programmé selon les principes de la logique floue³³). Sur ce point, *La Trame de l'évidence* est un ouvrage paradoxal : il entend montrer que la logique ne présente pas les spécificités qu'on lui prête habituellement, mais considère un domaine particulier, plus « concret » et moins « pur », et lui applique une méthodologie qui tend à gommer ses spécificités autres que matérielles.

Mais outre les modalités scripturales de leur mise en œuvre, la logique et les mathématiques se distinguent des autres sciences par leur vocation à durer et leur prétention à être universellement valides³⁴. L'étude de Rosental, fondée sur des observations contemporaines, se déploie dans une temporalité courte et fait intervenir un nombre somme toute limité de chercheurs liés à la logique floue. Le critère qui pousse l'auteur à attribuer au théorème le statut de connaissance certifiée, après un an environ de débats, repose sur la stabilisation relative des points de vue des intervenants, fondée sur des représentations divergentes du sens de la preuve et de la notion même de validité. L'accréditation du théorème signifie donc ici que le théorème n'a pas été catégoriquement invalidé et qu'il a accédé à une certaine reconnaissance. Il nous semble cependant un peu excessif d'en faire pour autant une « connaissance certifiée » sans prendre en compte sa postérité à plus long terme : un tel statut réside en effet selon nous dans les utilisations et citations successives qu'en feront éventuellement les logiciens pendant une ou plusieurs générations³⁵.

D'autre part, Rosental insiste sur la construction simultanée du résultat d'Elkan et de certaines propriétés de la logique floue à travers les négociations. Les particularités de ce domaine de recherche sont signalées, mais n'apparaissent pas comme déterminantes dans l'étude. Il s'agit pourtant d'une discipline relativement récente, qui ne dispose pas d'un corps de connaissances partagées par tous les chercheurs et dont la crédibilité n'est pas affirmée. Il est donc possible que les définitions et propriétés qu'elle met en jeu soient plus flexibles que celles d'une discipline plus solidement constituée. Dès lors, il conviendrait d'examiner à nouveau frais les enjeux des différentes interprétations du théorème quant à la redéfinition des frontières de la jeune discipline³⁶.

Au-delà de l'objet étudié, l'une des nouveautés du livre de Rosental réside dans le choix des sources utilisées : en plus des observations dans les universités et les colloques, et des entretiens avec les chercheurs, l'auteur appuie son enquête sur le dépouillement des archives d'un forum de discussion sur internet, dont il détaille à cette occasion le fonctionnement. Ce forum permet à tout individu disposant d'une

33. ROSENTAL, 2003, p. 157-168.

34. CIFOLETTI, 1998.

35. À ce propos, concernant la postérité à long terme d'un théorème de théorie des nombres, voir GOLDSTEIN, 1995, p. 5-17. Cette question est également abordée dans BRIAN, 1995, p. 93-95.

36. Pour plus de précision sur la logique floue, ainsi qu'une mise au point méthodologique, on peut consulter ROSENTAL, 1998.

connexion de lire et d'écrire des messages consacrés à la logique floue ; de ce fait, les débats qui s'y déroulent sont relativement ouverts, puisque les interventions ne font l'objet d'aucune sélection et qu'elles sont moins élaborées que les textes destinés à paraître dans des revues. De plus, la médiation du forum électronique autorise une forme d'échanges particulière : les acteurs intercalent fréquemment les passages des démonstrations antérieures qu'ils contestent entre les lignes de leurs propres textes, et les arguments développés sortent parfois largement du champ de la démonstration logique formelle. Ce forum offre ainsi un lieu d'échanges informels entre les intervenants, qui permet un dialogue personnalisé entre certains d'entre eux et l'utilisation d'une large gamme de ce que Rosental qualifie de « dé-monstrations ».

L'ouvrage de Rosental ne se limite cependant pas ici à la description d'une forme particulière de communication scientifique ; il montre également que l'organisation des échanges induit un mode particulier de production de connaissances. En effet, les représentations de l'article d'Elkan sont en partie forgées par les présentations et reformulations proposées sur le forum, fondées sur des registres démonstratifs divers et prenant appui sur les messages antérieurs : la signification de la preuve d'Elkan, sa validité et son statut en tant que démonstration logique sont ainsi perpétuellement reformulés et négociés au cours des échanges. Par ailleurs, les stratégies de visibilité développées par certains des auteurs permettent de donner plus de poids à leurs messages dans la formation des points de vue sur l'article d'Elkan. Le forum Internet « comp.ai.fuzzy » n'est donc pas seulement un lieu de dialogues : il opère également comme un lieu d'élaboration de savoirs, dont le mode d'organisation spécifique oriente la production.

Ainsi, *La Trame de l'évidence* constitue une belle application d'une démarche sociologique à l'étude du travail logique, qui montre que les sciences déductives ne sont pas imperméables au questionnement sociologique. L'ouvrage parvient à prendre en compte la dimension pratique de la logique sans pour autant sombrer dans le relativisme social. L'utilisation des archives d'un forum Internet ouvre en outre de nouvelles pistes de recherche, qui permettent de questionner les liens entre production et lieux d'élaboration des connaissances scientifiques. Centré sur le processus d'accréditation d'un théorème, l'ouvrage traite également du passage de la production locale des savoirs à la reconnaissance par les pairs. Il offre ici une réponse originale, fondée sur la notion d'énoncé collectif. Mais l'objet d'étude n'est saisi qu'au moyen de pratiques quasi immédiates et se trouve ainsi limité à une temporalité très courte : il reste à saisir ce que la démonstration, une fois la « dé-monstration » acquise, doit à l'épreuve du temps social. Ce pourrait être l'objet d'une suite que donnerait Rosental à cette première enquête, déjà neuve et plutôt efficace.

Caroline EHRHARDT

Centre Alexandre-Koyré

Pavillon Chevreul

57, rue Cuvier – F-75231 Paris Cedex 05

caroline.ehrhardt@mageos.com

(juin 2003).

LISTE DES RÉFÉRENCES

- BLOOR (David), 1982, *Sociologie de la logique. Les limites de l'épistémologie*, Paris, Pandore.
- BOUREAU (Alain), 1989, « Propositions pour une histoire restreinte des mentalités », *Annales. Économies, sociétés, civilisations*, 6, nov.-déc., p. 1491-1504.
- BRIAN (Éric), 1994, *La Mesure de l'État. Administrateurs et géomètres au XVIII^e siècle*, Paris, Albin Michel.
- BRIAN (É.), 1995, « Le livre des sciences est-il écrit dans la langue des historiens ? », in LEPETIT (Bernard), éd., *Les Formes de l'expérience. Une autre histoire sociale*, Paris, Albin Michel, p. 85-98.
- CIFOLETTI (Giovanna), 1995, « La question de l'algèbre. Mathématique et rhétorique des hommes de droit dans la France du XVI^e siècle », *Annales. Histoire, sciences sociales*, 6, nov.-déc., p. 1385-1416.
- CIFOLETTI (G.), 1998, « L'histoire culturelle des mathématiques », in GUESNERIE (Roger) et HARTOG (François), dir., *Des sciences et des techniques. Un débat*, Paris, Armand Colin-EHESS, p. 163-170.
- DAVIS (Philip J.) et HERSH (Reuben), 1981, *The Mathematical Experience*, Boston, Birkhäuser.
- ELKAN (Charles), 1993, « The paradoxal success of fuzzy logic », in *National Conference on Artificial Intelligence, Proceedings of the Eleven National Conference on Artificial Intelligence*, sponsored by the American Association for Artificial Intelligence (AAAI), 1993, Menlo Park, CA/Cambridge, MA, The American Association for Artificial Intelligence Press/Massachusetts Institute of Technology Press, p. 698-703.
- GOLDSTEIN (Catherine), 1989, « Le métier des nombres aux XVIII^e et XIX^e siècles », in SERRES (Michel), éd., *Éléments d'histoire des sciences*, Paris, Bordas, p. 275-295.
- GOLDSTEIN (C.), 1995, *Un théorème de Fermat et ses lecteurs*, Saint-Denis, Presses universitaires de Vincennes.
- KNORR-CETINA (Karin), 1981, *The Manufacture of knowledge. An essay on constructivist and contextual nature of science*, Oxford, Pergamon Press.
- LATOUR (Bruno), 1989, *La Science en action*, Paris, La Découverte.
- LATOUR (Bruno) et WOOLGAR (Steve), 1988, *La Vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*, Paris, La Découverte.
- LIVINGSTON (Eric), 1985, *The Ethnomethodological Foundations of mathematics*, Londres, Routledge.
- MACKENZIE (Donald), 1993, « Negotiating arithmetic, constructing proof. The sociology of mathematics and information technology », *Social Studies of Science*, vol. XXIII, p. 37-65.

- NYE (Andrea), 1990, *Words of power. A feminist reading of the history of logic*, Londres, Routledge.
- PICKERING (Andrew) et STEHANIDES (Adam), 1992, « Constructing quaternions. On the analysis of conceptual practice », in PICKERING (Andrew), éd., *Science as practice and culture*, Chicago, IL, Chicago University Press, p. 139-167.
- ROSENTAL (Claude), 1998, « Histoire de la logique floue. Une approche sociologique des pratiques de démonstration », *Revue de synthèse*, 4^e sér., 4, oct.-déc., p. 575-602.
- ROSENTAL (C.), 2003, *La Trame de l'évidence. Sociologie de la démonstration en logique*, Paris, Presses universitaires de France.
- WARWICK (Andrew), 1992, « Cambridge mathematics and Cavendish physics. Cunningham, Campbell and Einstein's relativity theory 1905-1911. Part I : The uses of theory », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. XXIII, 4, p. 625-656.
- WARWICK (A.), 1993, « Cambridge mathematics and Cavendish physics. Cunningham, Campbell and Einstein's relativity theory 1905-1911. Part II : Comparing traditions in Cambridge physics », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. XXIV, 1, p. 1-25.

MATHÉMATIQUES

Jules VUILLEMIN, *Mathématiques pythagoriciennes et platoniciennes*. Prés. Roshdi RASHED. Paris, Albert Blanchard, 2001. 16 × 24, VIII-152 p., bibliogr. (Sciences de l'homme).

Quels sont les rapports entre certains concepts fondateurs de la philosophie platonicienne et les mathématiques héritées du pythagorisme ? Telle est la question à laquelle Jules Vuillemin répond dans les cinq études, à la fois de démonstration mathématique, de logique et de conceptualisation philosophique, qui composent cet ouvrage.

La première étude est consacrée à la méthode du pair et de l'impair et à la division des nombres en puissances de facteurs premiers. Les pythagoriciens fondant la classification des entiers naturels sur la seule opposition du pair et de l'impair, la décomposition en facteurs premiers est chronologiquement postérieure à cette distinction. En définissant l'opération « multiplication » selon le pair et l'impair – $IMP \times IMP = IMP$, et tous les autres cas = P – on est conduit à une classification des entiers naturels. La répartition des carrés introduit ensuite une division plus fine des facteurs pairs, ce qui produit la démonstration de l'irrationalité de $\sqrt{2}$. C'est l'origine de la méthode dichotomique de division qu'utilise Platon. Or, de la dichotomie, forme la plus simple de la division, relève l'étude des rapports, et par conséquent des moyennes et de l'égalité de ces rapports. Il s'agit de l'analyse des genres ou idées, ce que nous appelons l'analyse logique.

Deux objections peuvent être soulevées par cette reconstruction de l'analyse platonicienne. La première, d'ordre mathématique, porte sur l'exhaustivité de cette analyse, la seconde, d'ordre historique, suggère qu'une démonstration exhaustive pourrait supposer des théorèmes euclidiens postérieurs à Platon. Or, la proposition « tout nombre admet une décomposition unique en une puissance de 2 et un facteur impair » est démontrable dans toute sa généralité sans utiliser des méthodes anachroniques. On peut analyser de même et en général le théorème de la décomposition unique en facteurs premiers.

Cependant, l'algorithme de dichotomie soulève une difficulté : la dichotomie est en effet une division incomplète puisqu'elle ne dissocie pas les facteurs impairs d'un nombre composé impair – soit les facteurs premiers diviseurs éventuels d'un nombre de la forme $2n + 1$. La dichotomie ne peut dès lors épuiser le continu. Tout

nombre, pair ou impair, est fini ; s'il est pair, il n'est susceptible que d'un nombre fini de divisions par 2 ; donc la dichotomie, qui suppose un nombre indéfini de divisions par 2, ne peut porter que sur des grandeurs géométriques, et elle est dépourvue de sens arithmétique. Cette conclusion est inévitable tant que, au principe des nombres, on ne fait pas de place à un ensemble ou à plusieurs ensembles infinis. Les pythagoriciens font dès lors usage d'ensembles infinis dans les définitions des progressions et dans leur tableau des nombres polygones. Pour construire ce tableau, le premier ensemble qu'ils utilisent est celui des entiers naturels positifs, le second celui des nombres triangles.

La deuxième étude est très logiquement celle des nombres triangles et des nombres polygones. L'arithmétique pythagoricienne présente une hiérarchie d'algorithmes. Elle construit des définitions par récurrence nommées *gnomons*, présentées sous forme de tableaux à double entrée d'où l'on déduit des algorithmes, par exemple afin de passer des nombres triangles – progression arithmétique de raison constamment croissante $n + 1$ à partir de 1 (la première ligne du tableau comprend les nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6 ; la deuxième ligne, les nombres 2, 3, 4, 5, 6, 7 (raison 1) ; la troisième ligne, les nombres 4, 5, 6, 7, 8, 9 (raison 2) ; la quatrième ligne, les nombres 7, 8, 9, 10, 11, 12 (raison 3), etc.) – aux nombres carrés – progression arithmétique de raison constamment croissante $n + 2$, à partir de 2 (la première ligne du tableau comprend les nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6 ; la deuxième ligne, les nombres 3, 4, 5, 6, 7, 8 (raison 2) ; la troisième ligne, les nombres 7, 8, 9, 10, 11, 12 (raison 4) ; la quatrième ligne, les nombres 13, 14, 15, 16, 17, 18 (raison 6), etc.). On forme ainsi les nombres polygones, à savoir pentagones, hexagones, etc.

Cette étude conclut sur la méthode de classification des nombres polygones et sur une démonstration constructive de l'irrationalité de $\sqrt{2}$. Vuillemin fait notamment allusion à une importante postérité de ces algorithmes arithmétiques : la construction du célèbre triangle de Pascal qui, il le rappelle, donne, entre autres, les coefficients du binôme de Newton, si utiles dans le calcul des probabilités.

À quoi pouvaient servir les nombres triangles des pythagoriciens ? Telle est la question qui suscite la troisième étude. Comme on vient de le voir, les nombres triangles forment la première classe des nombres polygones et fournissent les éléments qui composent les carrés. Deux conséquences en résultent : une loi spécifique de formation des carrés et le principe d'appartenance universelle et exclusive de ces nombres aux impairs ou aux pairs. Ainsi les nombres triangles ont servi à établir les deux lois fondamentales des fractions continues, à dégager les lois qui déterminent les formes légitimes de l'équation d'approximation de $\sqrt{2}$, et à fixer l'ordre périodique de ces formes. Platon semble s'en être souvenu, dans le *Parménide*, lors de la discussion de la « seconde hypothèse », à savoir « si l'un est ». Cette hypothèse a pour conséquence que, de l'un qui est, on peut affirmer tout et son contraire, ce qui conduit à remettre en question le monisme parméniidien et à s'interroger sur le « mode d'être » du non-être.

La quatrième étude, « Philosophie de la connaissance », porte sur la section de la ligne que Platon présente dans le sixième Livre de la *République*. Vuillemin conteste l'interprétation traditionnelle du texte – élaborée dans les termes d'une proportionnalité qui conduit à égaliser les choses sensibles et les objets mathématiques qui

occupent respectivement le rang supérieur des sensibles et le rang inférieur des intelligibles – en montrant l'in vraisemblance et en lui substituant une interprétation dans les termes de la section d'or, rapport réellement, ou intrinsèquement, irrationnel puisque, multiplié par lui-même, il ne devient pas rationnel comme $\sqrt{2}$ ($a = \frac{\sqrt{5}+1}{2}$. Son inverse, $a = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$, parfois appelé « nombre d'or », a pour

développement 1, 1, 1, 1... en fractions continues, et pour réduites les rationnelles $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{5}{8}$, etc.). Cette hiérarchie des irrationnelles sert de modèle à la hiérarchie des modes d'être caractéristiques de la philosophie platonicienne, deux modes extrêmes étant relatifs au même mode intermédiaire qui leur sert de moyen terme.

Platon maintient le primat pythagoricien de l'arithmétique, la sienne étant faite de propositions idéales, en ce sens que la « limite » du développement d'une irrationnelle en fractions continues préexiste à sa construction terme à terme et la rend possible. La hiérarchie irréductible des irrationnelles est ainsi appelée à témoigner de la réalité préalable de l'idéal. L'analyse de la ligne montre donc qu'un modèle mathématique est destiné à fournir une image définie et quantitative d'un « rapport » entre être, non-être, et le moyen terme entre ces extrêmes.

Quelle est la plausibilité historique d'une telle interprétation ? La section de la ligne fournirait un témoignage platonicien manquant, propre à justifier le commentaire de Proclus et à éclairer l'intérêt de Platon pour les premières Propositions qui constituent maintenant le début du Livre XIII des *Éléments* d'Euclide. Cela nous introduit à l'intelligence de l'un des concepts les plus fondamentaux de la philosophie de Platon, celui d'intermédiaire, le moyen terme indiquant à la raison d'aller au-delà de la seule considération des termes extrêmes.

La cinquième étude est consacrée aux modèles mathématiques de la méthode de division platonicienne. Elle exige une preuve d'incommensurabilité entre grands, moyens et petits termes de chaque division. Dans le *Sophiste* et dans la *Politique*, la division de la ligne évolue en figure d'approximation : c'est la thèse de l'excès et du défaut. Platon suppose deux principes des nombres, l'un matériel, la dyade indéfinie, l'autre formel, l'un. Au fur et à mesure que l'on progresse dans l'approximation, on voit apparaître un excès lorsque n est impair et un défaut quand n est pair.

Les deux dialogues tentent alors de rendre compte de l'apparence et de l'approximation. Deux modèles mathématiques orientent le philosophe : d'une part, une théorie primitive des ensembles, héritée du pythagorisme et associée aux arbres classificatoires pour démontrer par l'absurde l'existence des irrationnelles, d'autre part, le futur algorithme euclidien pour construire leur approximation. Ainsi, le *Sophiste* et le *Politique* nous éclairent sur les nombres idéaux et les grandeurs idéales. Deux questions différentes y sont imbriquées : celle des rapports entre algorithmes et continuité et celle des rapports entre ensembles infinis et algorithmes d'approximation.

Une première conséquence philosophique de ces modèles mathématiques consiste en la distinction de l'être et de l'apparence, équivalant à renoncer au monisme parménidien puisque l'on accorde que, en quelque façon, le non-être est. Une seconde conséquence établit la distinction entre cité de Dieu et cité des hommes. Des principes du gouvernement idéal, valables pour les hommes tels qu'ils devraient être, on passe aux principes du gouvernement le meilleur, compatible avec les hommes tels qu'ils sont, ce qui rend possible la définition des régimes constitutionnels. La succession de ces deux thèses s'illustre dans la subordination – dans le *Sophiste* et le *Politique* – de la méthode de division canonique utilisée dans la *République*, à la méthode d'approximation par excès et défaut. Comprendre logiquement, c'est donc classer ou diviser, c'est mettre en rapport, ce rapport admettant une définition finie ou infinie. Vuillemin ne manque pas de souligner l'inadéquation des modèles platoniciens. Le mathématicien peut certes statuer sur le vrai, le faux et l'indécidable, mais non sur l'apparence, et encore moins sur le bien. Le Souverain Bien platonicien, tel qu'il est présenté dans le septième Livre de la *République*, se situe en effet au-delà de l'essence ; il est donc également au-delà de la définition et du rapport.

Cet ouvrage d'une très haute tenue est appelé à devenir un classique de l'histoire intellectuelle. Les rapports entre mathématiques et philosophie y sont remarquablement mis en lumière, suivant une démarche qui conduit pas à pas le lecteur de l'étude des démonstrations antiques à la conceptualisation platonicienne telle qu'elle en devait nécessairement résulter.

Jean-Marc ROHRBASSER

Claude IMBERT, *Pour une histoire de la logique. Un héritage platonicien*. Paris, Presses universitaires de France, 1999. 15 × 21,5, 304 p. (Science, histoire et société).

Sans la rupture frégréenne, nous pourrions encore penser avec Kant que l'histoire de la logique n'est depuis Aristote qu'une question de formulation. En ce sens, cette histoire commence avec Gottlob Frege, et c'est de ce point de vue rétrospectif que l'ouvrage de Claude Imbert prend le parti de l'explorer, en l'articulant autour de Frege et de ses interlocuteurs (ainsi l'auteur peut passer sous silence les critiques de la logique kantienne antérieures à Frege).

Ainsi le parcours débute en fait au chapitre VI, sur les implications que cette rupture a pour l'écriture même d'une histoire de la logique. Il est impossible de prendre la logique comme un objet autonome et d'user librement de transcriptions modernes, comme on le fait aujourd'hui (par exemple, *La Logique et son histoire*, de Robert Blanché et Jacques Dubucs, Paris, Armand Colin, 1996), dans la lignée de W. C. et Martha Kneale (*The Development of logic*, Oxford, Clarendon Press, 1962). D'une part, le fait qu'il y ait des représentations rivales de la syllogistique (Jan Lukasiewicz, Gilles-Gaston Granger, et Willard Van Orman Quine, *Methods*

of logic, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1952) montre qu'elles sont toutes inadéquates. D'autre part, la logique des Anciens présente trois caractères absents des logiques post-frégéennes, lesquels sont autant de facteurs d'opacité référentielle au sens de Quine : l'absence de substitution *salva denotatione*, la non-vérifonctionnalité du syllogisme, et le « caractère épistémique des propositions » (chaque énoncé serait à la fois « A est B » et « je déclare que A est B »). Ce dernier point est le cœur de l'argument : toutes les logiques anciennes sont fondées dans la perception, et sont conçues comme des imitations des liens réels des choses. Si les historiens de la logique retrouvent chez les Anciens la logique des Modernes, c'est parce qu'ils en excluent par principe ce qui est exclu de la logique moderne, par exemple la théorie stoïcienne de la représentation.

La rupture frégéenne prend donc la figure d'une « différence de principe » entre les logiques « intentionnelles » (régées sur le réel perçu, « phénoménologies ») et « extensionnelles » (« langues formulaires »). Les historiens de la logique héritent leur méthode, via Heinrich Scholz et Jan Lukasiewicz, d'une époque qui tentait de l'effacer, au nom de l'idéal d'une langue unique de la science (Bertrand Russell, les positivistes, Willard V. O. Quine). L'auteur affirme au contraire que « le choix d'un formalisme est toujours second » (p. 94), et qu'en conséquence, « si l'histoire de la logique a quelque contenu ce sera de comprendre la genèse de cette grammaire prédicative de surface [la logique phénoménologique des Anciens], puis sa régression vers ce que l'on appellerait, à un aussi juste titre, élémentaire, fondamental ou archaïque » (p. 202).

Une histoire du réalisme se dessine ainsi à travers l'histoire de la logique. L'attention se porte alors sur Platon plutôt que sur Aristote. Les chapitres I et II montrent comment s'opère, dans son œuvre, la solution du hiatus entre la raison humaine des sophistes et la raison divine ou physique des présocratiques, en projetant cette dernière dans le discours (la « seconde navigation », ou seconde voie de recherche, du *Phédon*), plus précisément dans l'énoncé (« Théétète est assis »). Le *logos* devient porteur, de Platon jusqu'à Quine, d'une « promesse de réalisme » (p. 82). C'est l'origine d'un processus de naturalisation et de subjectivisation : d'une part, le langage est une image de la nature, et les prédicats sont communs à la nature et aux choses humaines et, d'autre part, l'individu est figuré dans l'extériorité du discours qui peut être le dialogue, mais aussi le discours décontextualisé du traité, annoncé dans les dialogues (chap. I). Les discours de Platon sur les livres (chap. II) montrent que l'« équation entre la pensée, les choses et les dire » (p. 87) donne le plan d'une encyclopédie idéale, qui aurait intégré les livres auxquels l'éclatement du système platonicien a finalement donné lieu : livres d'histoires (humaines et naturelles), de philosophie, et de conversion morale.

La notion stoïcienne de *phantasia logiké* (« représentation rationnelle », énoncé et perception à la fois) montre (chap. III) comment l'inférence s'articule sur la réalité perçue : la première prémisses ou lemme est une consécution physique (« Si le premier le second »), la seconde ou prolepse est une perception (« le premier »). La dialectique assure la conformité des représentations, physiquement transmises par le discours, à leur source perceptive.

Les chapitres IV et V insèrent l'œuvre logique de Frege dans cette histoire longue, au croisement de deux forces : le langage de la fonction mathématique, né avec Galilée, et la quête platonicienne d'un langage qui reflète le vrai (chez Frege, un langage de la pensée pure). La vraie lucidité de Frege ne fut pas de reconnaître l'antinomie de Russell, mais d'abandonner le projet d'une langue unique du réalisme (scientifique et humain), temporairement accompli par les cartésiens et Kant, et poursuivi en vain par Russell puis Quine. Il n'y a de « crise de la raison » husserlienne qu'à l'aune de ce projet, l'auteur diagnostiquant notre actualité comme étant celle d'une « raison laïcisée », qui « apparaît désormais comme le prisme de nos langages disjoints » (p. 165), libérée de la nécessité de la catégorie kantienne, et de l'adéquation des « phénoménologies » antiques.

Les chapitres suivants tirent la leçon de la rupture frégréenne. Le chapitre VII voit dans l'organisation de l'*Encyclopédie* de d'Alembert, que lui-même concevait comme un pis-aller, le modèle réticulaire de ce que sont aujourd'hui nos savoirs ; le « relais » contemporain de la philosophie première consistant dans la construction de cette structure. Le chapitre IX cherche, à travers le thème de la réforme de l'entendement, les raisons de la séparation de l'éthique et de la physique dans la philosophie moderne. Le chapitre X voit dans la maturation parallèle des œuvres de Ludwig Wittgenstein et de Maurice Merleau-Ponty, avec l'abandon du mutisme d'un côté, de la perception de l'autre, l'effacement d'un réalisme classique au profit d'une philosophie qui renoue avec la stylistique pour explorer les limites fluctuantes de la parole : le chiasme de Merleau-Ponty et les jeux de langage de Wittgenstein.

L'ouvrage se compose d'études distinctes, ce qui ne va pas sans quelques répétitions (chap. IV et V par exemple), mais permet une lecture indépendante des chapitres, même si certains passages sont trop rapides pour être compris isolément, par exemple ceux sur Kant, dont l'interprétation n'est explicitée que dans les derniers chapitres (chap. VIII et X). L'introduction cherche à lier les différentes études, mais, ne pouvant qu'évoquer leur contenu, elle doit plutôt être lue en dernier, et aurait gagné à être une conclusion.

Les questions centrales soulevées et les thèses fortes de l'auteur suscitent, bien sûr, quelques objections. Aux arguments du chapitre VI, on peut rétorquer que les Anciens n'abordaient tout simplement pas la question de la substitution *salva denotatione* (peut-on remplacer Cicéron par Tullius dans tous les contextes ?), que le pendant moderne de l'inférence n'est pas l'implication matérielle mais l'inférence valide, sans perte de la vérifonctionnalité, et que l'auteur ne dit pas comment introduire concrètement le « caractère épistémique » des énoncés dans la logique des Anciens, sans invalider tous les syllogismes.

En outre, la prise en compte de la théorie stoïcienne de la représentation dans leur logique permet d'en expliquer certaines contraintes (que le lemme exprime une nécessité, qu'il y ait deux prémisses), mais pas toutes (pourquoi cinq tropes indémonstrables ?) ; en particulier, pourquoi Chrysippe se sentirait-il obligé de *prouver* que « si le premier alors le premier, mais le premier, donc le premier » ? Si le but du syllogisme est de suppléer la perception, celui-ci, qui la présuppose pour la démontrer, n'a pas d'intérêt.

Enfin le chapitre VIII soutient que, faute de comprendre la portée de la rupture frégréenne, les sciences cognitives s'épuisent en vain dans la recherche d'une description adéquate de l'intelligence. Leurs modèles, construits sur la base de la logique « extensionnelle », sont hétérogènes à notre intelligence, qui s'exprime dans les langues naturelles. Outre diverses questions, comme par exemple celle de viser des concepts qui ne relèvent que de la philosophie des mathématiques (la preuve), sans mentionner ceux de la philosophie de la connaissance, où l'on parle d'intention, de référence, etc., ce chapitre pose un problème plus général : d'un côté, l'auteur attribue aux sciences cognitives un projet d'adéquation, irréalisable, mais de l'autre, elle leur assigne un domaine propre parce que adéquat, l'intelligence artificielle, endossant elle-même l'épistémologie qu'elle prétend rejeter (parallèlement, son rejet de la grammaire générative montre qu'elle réserve les études de la langue naturelle aux études *en* langue naturelle, celles de Wittgenstein et de Merleau-Ponty), au lieu de faire crédit aux sciences cognitives, comme aux historiens de la logique, de chercher à exporter des méthodes, tâche en laquelle elle voit pourtant elle-même, comme elle le dit au chapitre VII, le présent de la philosophie.

Julien DUTANT

Jean-Michel COUNET, *Mathématiques et dialectique chez Nicolas de Cuse*. Paris, Vrin, 2000. 16 × 24, 457 p., bibliogr., index (Études de philosophie médiévale, LXXX).

Nous devons à Ernst Cassirer d'avoir fait connaître dans *Individuum und Kosmos* la place essentielle de Nicolas de Cuse, né il y a six siècles, au seuil de la Renaissance ; c'est lui qui introduit l'infini non seulement dans l'univers, mais aussi dans le processus de la connaissance. Mais l'apport du Cusain ne se réduit-il qu'à une avancée épistémologique ? Jean-Michel Counet, dans sa thèse *Mathématiques et dialectique chez Nicolas de Cuse* publiée chez Vrin, nous montre dans l'œuvre du Cusain une authentique métaphysique, construite sur le principe de la coïncidence des opposés.

Pour nous exposer l'ampleur de cette métaphysique, l'auteur commence par mettre en évidence deux influences déterminantes, celle de la dialectique platonicienne dans laquelle, on le sait, les mathématiques jouent un rôle nécessaire, et celle de la théologie de saint Anselme, dans laquelle est pensée l'ascension de l'esprit humain vers le maximum. À cette double influence, Counet joint un propos de maître Eckhart qui distingue trois exemples d'opposition : la matière et la forme, le tout et les parties, la divinité et l'humanité. Ces trois oppositions donnent le plan de l'ouvrage et permettent de couvrir les différents champs d'application de la dialectique cusaine.

Mais avant d'exposer cette dialectique, l'auteur fait le point sur trois expressions propres à la théorie de la connaissance du Cusain : la docte ignorance, la conjecture et la coïncidence des opposés. La docte ignorance est une expérience, celle de

l'ignorance à laquelle aboutit l'activité intellectuelle lorsqu'elle entreprend de comprendre l'infini. Cette expérience devient une prescription pour tout théologien qui vise la connaissance de Dieu. Counet reproche à Cassirer d'avoir réduit l'œuvre de Nicolas de Cuse à cette seule docte ignorance, et d'avoir négligé la coïncidence des opposés.

La notion de conjecture est la conséquence d'une position fondamentale : l'esprit humain ne pourra jamais atteindre la connaissance de Dieu avec exactitude. Dans le *De conjecturis*, la conjecture est le principe d'une méthode générale d'investigation du réel. Elle s'oppose à la certitude parce qu'elle porte sur le multiple, et elle s'oppose à la connaissance directe parce qu'elle procède par des médiations, des signes. Par la conjecture, l'esprit humain s'assimile aux objets de la connaissance en produisant des notions analogues. Plus il approfondit sa connaissance, plus l'esprit s'approche de l'objet sans jamais atteindre la précision absolue. L'esprit cherche à connaître par des proportions continues. C'est pourquoi le nombre est la première des conjectures de l'esprit.

La coïncidence des opposés, dont Nicolas de Cuse dit qu'il a eu la révélation à son retour de Grèce, est un principe qui lui permet de développer une nouvelle logique, une logique anti-aristotélicienne, mais dont il faut bien délimiter le champ de validité. L'auteur considère que la coïncidence des opposés a une structure trinitaire, qu'elle doit être différenciée dans trois usages. Dans le domaine des connaissances qui relèvent de la raison, c'est-à-dire sur les objets finis, Nicolas de Cuse conserve le principe de non-contradiction. Dans le domaine qui relève de l'intellect, c'est-à-dire la notion de totalité, équivalente de l'univers, il pratique la conjonction des opposés. Dans cette conjonction, les opposés restent opposés sans disparaître. Enfin, dans le domaine du divin, c'est-à-dire l'infinité, se réalise vraiment la coïncidence des opposés.

La dialectique de la matière et de la forme est étudiée à partir de l'esthétique de Nicolas de Cuse. Il s'agit notamment de la symbolique de la lumière : la lumière de l'esprit rend visibles les objets sensibles. Puis, on retrouve cette dialectique dans la définition de Dieu comme « forme des formes », expression qui parcourt tout le Moyen Âge depuis Plotin jusqu'aux Chartreux. L'auteur reprend en détail ce que le Cusain doit à Thierry de Chartres : la « *forma essendi* » et l'« *universitas rerum* ». Entre les réalités empiriques et la forme absolue qu'est Dieu, on trouve les fameuses figures géométriques exposées dans le *De docta ignorantia*, I, 12 et I, 13, qui font entrevoir comment la forme infinie qu'est Dieu est présente dans le fini. Dans le domaine de la géométrie symbolique, les apports du Cusain sont vraiment originaux.

La dialectique du tout et des parties est exposée à partir de sa cosmologie. Dieu a créé l'univers, mais comment penser la relation de l'être divin à la diversité de l'univers ? Ni émanation, ni participation, cette relation est pensée sur le modèle arithmétique du rapport de l'unité et des nombres. Comme tout nombre est une unité contractée par la multiplicité, l'univers est la contraction du maximum qu'est Dieu. Cette définition théologique de l'univers entraîne l'affirmation de son infinité (la sphère infinie dont le centre est partout et la circonférence nulle part), ainsi

que des propositions tout à fait modernes : la Terre n'est pas au centre du monde ; la Terre n'est pas immobile ; la Terre est une étoile comme les autres. Dans le domaine cosmologique, le Cusain a opéré une véritable révolution ontologique en faisant des étants non plus des substances, mais des fonctions.

Enfin, la dialectique de la divinité et de l'humanité est exposée à partir de la christologie. Le Christ unit en lui les deux natures, humaine et divine. Dans l'univers, aucune espèce ne parvient à la perfection, c'est-à-dire n'épuise toutes ses virtualités. Mais à supposer qu'un individu actualise en lui toutes les potentialités de son espèce, alors il ne pourrait plus subsister en lui-même ; il devrait subsister en Dieu. Cette hypothèse ne peut se réaliser que dans la nature humaine et s'est réalisée en fait dans le Christ. En lui, les deux natures opposées ne sont pas simplement conjointes comme dans l'univers, mais elles coïncident vraiment, sans séparation ni confusion.

La dialectique, telle que la pratique Nicolas de Cuse, consiste donc à partir d'un contenu de connaissance déterminé pour viser le maximum comme coïncidence des opposés. Ce n'est pas une négation du fini, mais une insertion du fini dans l'infini. Nicolas de Cuse voit dans le Christ la perfection de la nature humaine. Il relie cette conception à l'activité mathématique consistant à effectuer un passage à l'infini des figures géométriques (par exemple, à porter le nombre des côtés d'un polygone régulier à l'infini pour en faire un cercle), la différence entre le Christ et les mathématiques étant que les figures infinies n'existent pas : au moment où la coïncidence du polygone et du cercle pourrait se faire, les figures s'évanouissent ; alors que dans le Christ, l'humanité et la divinité coïncident réellement. Les mathématiques sont l'activité humaine par laquelle se laisse toucher mais non saisir le mystère de l'Incarnation.

Les pages techniques consacrées aux recherches mathématiques du Cusain sur la quadrature du cercle exposent quelques figures tirées de l'édition de Joseph Ehrenfried Hofmann, enrichies du commentaire de Fritz Nagel. Counet reprend la vieille question de savoir si ces recherches anticipent sur le calcul infinitésimal leibnizien, et repère dans les textes la notion platonicienne de ligne insécable, sorte d'indivisible avant la lettre. Il y aurait à reprendre de plus près ce débat que les historiens des mathématiques analysent tout autrement.

Suivant les avertissements de Kurt Flasch (*Die Metaphysik des Einen bei Nikolaus von Kues. Problemgeschichtliche Stellung und systematische Bedeutung*, Leyde, Brill (Studien zur Problemgeschichte der antiken und mittelalterlichen Philosophie, 7), 1973), l'auteur est attentif aux évolutions de la pensée du Cusain, notamment entre le *De docta ignorantia* et le *De conjecturis*. Parmi les nombreuses reconstitutions de sources, les multiples mises au point conceptuelles et quantité de commentaires éclairants sur des passages difficiles, nous retiendrons deux questions d'interprétation.

D'abord, la lecture hégélienne : parce que la démarche du Cusain est souvent ternaire, que la coïncidence des opposés ressemble à un dépassement dialectique, on a souvent cédé à l'illusion rétrospective d'y voir un précurseur de la dialectique de Hegel. Or, et Counet nous le rappelle, les différences sont multiples et radicales.

Ainsi, la dialectique utilisée par Nicolas de Cuse dans sa recherche mathématique consiste moins à surmonter une opposition par l'invention d'un troisième terme qu'à révéler le rapport déjà établi par Dieu, à savoir une proportion constante allant du minimum au maximum en passant par tous les intermédiaires. Autrement dit, l'essentiel n'est pas dans l'effort de dépassement, de saut vers l'infini, mais il est dans l'annulation des oppositions.

L'auteur se rallie à l'interprétation de Heinrich Rombach (*Substanz, System, Struktur. Die Ontologie des Funktionalismus und der philosophische Hintergrund der modernen Wissenschaft*, Fribourg-Munich, Alber Verlag, 1966, 2 vol.), qui, lui-même, reprend la thèse de Cassirer pour l'approfondir. Selon Cassirer, la modernité se caractérise par le passage de la conceptualité des substances à la conceptualité des fonctions et Nicolas de Cuse représente un maillon essentiel de cette transition. Selon Rombach, Nicolas de Cuse aurait opéré une révolution ontologique en passant d'une ontologie substantialiste à une ontologie fonctionnaliste. Dans l'ontologie substantialiste, les entités matérielles, vivantes, humaines et divines existent de façon autonome, puis entrent en relation les unes avec les autres. Dans l'ontologie fonctionnaliste, il n'y a pas de support substantiel préalable aux relations, mais les relations constituent l'être même des éléments. Le Cusain initierait cette coupure épistémique moderne avec son concept d'univers, exposé au Livre II du *De docta ignorantia*. L'univers est un champ dont les composants (Soleil, Lune, etc.) sont des valeurs aux différents points de l'espace. On trouve la même idée dans le traité *De staticis experimentis* : toute entité physique fait l'objet de mesures, de pesées, de comparaisons ; aucune n'a sa qualité en soi. Toutes les choses composent une harmonie par leurs relations proportionnelles.

Cette interprétation nous paraît convaincante pour la cosmologie du Cusain ; en effet, on peut y lire des anticipations assez nettes du relativisme galiléen : il n'y a pas de centre fixe et unique de l'univers, et la connaissance se définit comme un processus de mesure conduit par le sujet connaissant ; Nicolas de Cuse relie lucidement ces deux dernières propositions. Mais si l'on cherche une vérification de cette hypothèse dans les textes mathématiques, le résultat est beaucoup moins convaincant. Counet montre d'ailleurs que l'ontologie substantialiste subsiste bien chez le Cardinal, notamment dans la façon dont il pense les rapports des créatures à Dieu.

Dans son ouvrage récemment traduit en français, *La Légitimation des temps modernes* (Paris, Nrf Gallimard, 1999), Hans Blumenberg voit dans les recherches de Nicolas de Cuse un effort ultime pour sauver le monde médiéval, effort paradoxal puisqu'il conduit le Cusain à avancer des propositions qui participeront à l'avènement de la modernité, qui dépasseront même les thèses de Copernic. Pour Counet, « Nicolas est le premier penseur moderne parce qu'il mène précisément à son accomplissement le projet du Moyen Âge » (p. 431), projet initié par saint Anselme, à savoir une métaphysique de la finitude.

Jean-Marie NICOLLE

Dominique BERLIOZ, *Berkeley. Un nominalisme réaliste*. Paris, Vrin, 2000. 13,5 × 21,5, 221 p., bibliogr., index (Bibliothèque des philosophies).

Le philosophe irlandais George Berkeley (1685-1753) se présente sous de multiples facettes : théoricien de la vision, polémiste en philosophie des mathématiques, analyste économique, politologue de la sociabilité, et, *last but not least*, défenseur de la célèbre thèse de l'immatérialisme. Dominique Berlioz, après nous avoir rappelé la vie et les œuvres de ce « polyphilosophe » ainsi que leur contexte, expose les grandes lignes de sa pensée dont il montre l'unité profonde.

Berkeley recommande à son lecteur deux attitudes complémentaires : l'examen serré des préjugés et la largeur de vue afin de penser le monde selon l'ordre et la finalité et de saisir l'ordre et la providence à l'œuvre. *L'Essai sur une nouvelle théorie de la vision* de 1709 contient les fondements de sa pensée. Comprendre la vision, c'est en effet procéder à l'analyse du fait perceptif lui-même. Comment expliquer le paradoxe qui fait « que nous voyons vraiment un espace extérieur et des corps existant effectivement en lui » alors que ces objets « n'existent nulle part en dehors de l'esprit » ? Berkeley soutient deux thèses : la construction de l'objet perçu ressortit plus à l'activité sémiotique qu'au raisonnement ; le visuel pur est distinct du géométrique. Ainsi, l'image projetée sur la rétine est un objet de connaissance plus qu'un objet de perception, « l'objet propre et immédiat de la vision [étant] la lumière » et les données visuelles s'organisant selon le plan euclidien à partir de la surface, donné perceptif pur. L'espace visuel est composé de quantités non homogènes et discontinues : ce que nous voyons immédiatement est une variété d'éléments colorés organisés selon une topologie élémentaire.

Passer de la perception simple à la perception complexe, de l'immédiat au médiat, est une activité de type sémantique par laquelle les données sensibles sont organisées de manière à être des signes. Berkeley distingue deux types d'objets sensibles, l'objet propre et l'objet médiat, ce dernier étant un objet sensible suggéré par une combinaison d'idées sensibles hétérogènes due au concours de tous les sens. Notre manière de sentir est donc liée à notre constitution corporelle, il existe une correspondance entre le tangible et le visuel, et la synthèse de la diversité sensible s'opère au moyen de l'imagination et de la suggestion. Il n'est donc pas fondé de croire que les corps existent dans un support extérieur et indépendant de l'esprit. C'est le germe de l'immatérialisme et du « Nouveau Principe » selon lequel « exister c'est être perçu ou percevoir ou vouloir, c'est-à-dire agir ».

Le philosophe met en évidence, à partir d'exemples, l'impossibilité de l'expérience de pensée qui dissocierait exister et être perçu ou percevoir. Il s'appuie sur l'analyse du sens d'une proposition. Quand je dis que la table existe, je lie deux énoncés, l'affirmation de l'existence et l'affirmation de la perception. En exprimant ainsi ma conviction que la table que je vois existe, j'affirme que le non-perçu ne peut pas exister, proposition dont l'universalité n'est pas contestable. Seule la mise en évidence d'un lien différent entre l'idée et l'esprit pourrait conduire à l'infirmer ou à en restreindre la portée. Les choses étant ainsi réductibles aux idées sensibles, l'esprit est l'unique support des idées.

Il s'ensuit d'abord que la matière, entendue comme support de qualités sensibles, est un terme sans réelle signification qui ne désigne rien d'existant ; ensuite, qu'il n'y a pas lieu de distinguer qualités premières et qualités secondes ; enfin, que l'idée ne représente rien : il n'est pas légitime de penser que les idées de ces qualités, en nous, soient conformes et semblables aux propriétés de la chose hors de nous. Berkeley, en rejetant l'existence d'objets indépendants et extérieurs à l'esprit, rompt avec la métaphysique des absolus qui caractérise le matérialisme et l'idéalisme classique et opte pour une ontologie moniste ne reconnaissant qu'une seule sorte de substance, l'esprit. La réalité objective et la réalité formelle des idées se confondent : elles sont, pour un esprit qui ne se laisse pas prendre dans le sensible, le signe de la cause divine qui se révèle en toutes choses. En effet, pour rendre compte de la permanence, de l'identité des corps et de la possibilité d'une science de la nature, Berkeley soutient la thèse de l'action directe immédiate de Dieu. Les choses que je perçois – les idées – sont connues de Dieu et produites par sa volonté, elles existent de manière éternelle dans l'esprit de Dieu, mais n'existent pour nous qu'à partir d'un décret divin qui crée des esprits finis capables de les percevoir. On peut donc généraliser et abstraire, mais aucune idée générale n'est construite par abstraction. Le rejet des idées générales abstraites déboute la notion de substance nominale : nul besoin de poser la matière pour rendre compte de ce qui est et peut être objet de science.

Les signes sont les instruments de la connaissance. Chez Berkeley, les mots désignent directement les actes de l'esprit ou de la volonté, et non les marques de ces actes dans l'esprit. Le langage a donc une fonction essentiellement performative. Aussi l'approche du philosophe est-elle nettement nominaliste : aucune utilisation générale d'une idée particulière ne peut se faire sans le truchement du langage qui nomme et définit. Dans le domaine métaphysique, il s'ensuit que, l'idée n'étant plus le référent obligé du mot, le discours sur l'esprit ne pose plus de problème, le langage permettant d'instaurer un réseau de relations entre les termes qui désignent les différentes substances ou leurs opérations. C'est également le formalisme des mathématiques qui retient l'attention de Berkeley. Le nombre est relatif, il n'existe pas dans les choses, et les mathématiques relèvent du raisonnement et non du sens, ne passant pas par la traduction visuelle de l'image de l'idée tangible.

Berkeley rejette cependant le calcul infinitésimal afin de récuser les arguments des mathématiciens rationalistes contre les mystères de la religion. Il rejette de même la physique corpusculaire associée au matérialisme : les événements naturels que je perçois sont l'effet de l'action immédiate et réglée de Dieu et non d'une mécanique autonome et indépendante de lui. Dès lors, la recherche des causes revient à la métaphysique puisque seul l'esprit est cause. À ce phénoménisme s'adjoint une conception pragmatiste de la science : l'utile n'y est pas la règle du vrai, mais le vrai n'a de sens que par rapport à l'utile. Préfigurant les thèses d'Ernst Mach, Berkeley pose que plusieurs discours scientifiques sont autorisés et qu'ils s'avèrent l'un comme l'autre utiles.

Outre les idées, existe, pour le philosophe, un autre genre d'êtres ou de choses : les esprits ou intelligences. La connaissance de l'esprit est rationnelle, partiellement indirecte, mais pourtant l'objet d'une certitude immédiate. L'esprit, chose qui

pense, agit et perçoit, inétendue et indivisible, n'est pas l'équivalent immatériel de la matière mais un principe actif qui remplit diverses fonctions et agit de différentes manières. La connaissance que j'ai de moi-même est l'expérience première de l'esprit qui organise le donné perceptif et opère sur lui. L'esprit est aussi principe de volonté, source d'actions : Dieu a institué des lois de la nature qui font que bien qu'il ne dépende pas de moi de choisir chacun des mouvements qui aboutissent au résultat d'une action, leur production dépend cependant totalement de la décision que j'ai prise. Je puis alors accéder, par inférence, à la connaissance et à la certitude de l'existence d'autres esprits. Il s'ensuit une communauté des esprits régie par une morale et une politique.

La morale de Berkeley se caractérise par un hédonisme utilitariste, la raison ayant sa place dans la quête du plaisir et du bonheur. Cette visée d'harmonie conduit l'individu à prendre en compte, outre lui-même, la nature et ses lois, mais aussi les autres esprits. Cette morale, fondée sur la liberté humaine et sur la sociabilité, a une dimension politique. En effet, l'organisation sociale, voulue par Dieu, doit être considérée comme une loi de notre nature. L'économie est alors le moyen de réaliser le bien-être de l'humanité puisqu'elle vise à formuler des règles d'action capables d'assurer la prospérité de la société. Pour renforcer l'activité et produire davantage, Berkeley propose une théorie originale de la monnaie : cette dernière n'étant qu'un signe, un outil qui facilite les transactions, le philosophe préconise de remplacer les pièces d'argent par des pièces de cuivre. Enfin, la médecine et la pharmacopée concourent aussi au bonheur de l'humanité. Berkeley invente alors un remède qui le rendit à l'époque plus célèbre que son immatérialisme : il s'agit de l'eau de goudron, véritable panacée universelle.

Il faut savoir gré à l'auteur de son exposition claire et précise des multiples aspects de la pensée d'un philosophe trop méconnu en France, cependant original et, à certains égards, anticonformiste, qui, toujours dans le cadre d'une apologétique, parvient à conjuguer réalisme ontologique et nominalisme de la connaissance. L'ouvrage, qui propose une riche bibliographie ainsi qu'un utile *index nominum*, satisfera certes les spécialistes de la philosophie anglaise, mais également la curiosité de ceux qui aiment à découvrir une pensée qui n'a aucunement perdu de sa pertinence ni de son actualité.

Jean-Marc ROHRBASSER

Jean-Pierre BELNA, *Cantor*. Paris, Les Belles Lettres, 2000. 10,7 × 17,8, 240 p., glossaire, bibliogr. (Figures du savoir).

Georg Cantor (1845-1918), mathématicien allemand à la vie tourmentée, est un grand nom de l'histoire de la pensée mathématique. Fondateur de la théorie des ensembles, il a doté sa discipline d'un langage suffisamment puissant pour permettre l'unification de ses différentes branches, et ouvert une période de crise épistémologique et méthodologique qui a débouché sur l'élaboration des programmes

formaliste et intuitionniste. Inventeur du concept de transfini, « extension naturelle du concept de nombre » qui permet d'arithmétiser l'infini, il a promu l'infini actuel au rang d'objet de connaissance à part entière, et en a élaboré une méthode de description dont il n'a cessé de souligner la portée pour la pensée en général dans un dialogue avec les traditions philosophique et théologique. Jean-Pierre Belna est parvenu à donner une présentation synthétique et claire des principaux concepts et des grandes articulations de cette théorie mathématique, tout en restituant ses tenants et ses aboutissants. Divisé en six chapitres, l'ouvrage est évidemment centré sur l'évolution et l'architecture conceptuelle de la théorie des transfinis, mais comporte aussi une excellente analyse des problèmes épistémologiques qui lui sont liés et des spéculations théologiques que Cantor lui a lui-même rattachées. Le mode d'exposition adopté, à la fois chronologique et thématique, dégage clairement la logique interne de la recherche cantorienne. L'auteur la resitue ainsi dans le mouvement d'arithmétisation de l'analyse inauguré par Carl Friedrich Gauss et poursuivi par Bernhard Bolzano et Karl Weierstrass. Il souligne de la sorte les enjeux des premiers travaux de Cantor sur la définition des nombres irrationnels comme limites de certaines suites de rationnels et montre comment l'étude de la topologie des ensembles finis linéaires de points débouche sur la première élaboration de la série des différents infinis, encore caractérisés comme simples symboles de dérivation. Il expose ensuite la théorie du transfini proprement dite, selon une double perspective, descriptive et critique : il montre ainsi clairement les principes de construction des différents transfinis et les opérations dont ils font l'objet, et ouvre sur les modifications conceptuelles et méthodologiques que ses continuateurs ont dû adopter pour résoudre les paradoxes que sa première formulation portait en elle.

La principale qualité de l'ouvrage est de rendre compréhensibles au non-mathématicien des concepts difficiles sans sacrifier la rigueur du raisonnement de Cantor, dont il détaille les étapes et éclaircit les ambiguïtés ; les efforts exigés par ce livre sont justifiés par le fait qu'il porte en lui-même ses propres principes d'intelligibilité (on peut cependant regretter le fait que les relations qui unissent la série des ordinaux et celle des cardinaux transfinis sont traitées de manière un peu allusive). Son intérêt réside aussi en ceci que les remarques critiques, concernant notamment le psychologisme latent des définitions de Cantor et le caractère parfois insuffisamment rigoureux de ses preuves d'existence, sont finalement rassemblées dans la partie plus proprement philosophique de l'ouvrage, qui fait la synthèse des conceptions cantoriennes et les situe avec précision dans le champ de l'épistémologie des mathématiques en général. Il introduit ainsi à une plus grande intelligence de la signification de la « crise des fondements » qu'elle a suscitée et des principes de solution qui en ont été proposés, et s'achève par une réflexion sur la fécondité de la conception cantorienne pour la physique moderne aussi bien que pour notre compréhension rétrospective de questions et d'intuitions bien antérieures à son apparition. Au total, le livre de Jean-Pierre Belna accomplit bien son projet de « rendre sensibles la beauté, la subtilité et l'inventivité » (p. 221) de l'œuvre de Cantor, sans perdre de vue sa portée pour la pensée de l'infini en général.

Vincent DOLISI

HISTOIRE DES SCIENCES

Alain BOUREAU, *Théologie, science et censure au XIII^e siècle. Le cas de Jean Peckham*. Paris, Les Belles Lettres, 1999. 15 × 21,5, 379 p., chronol., bibliogr., index (L'Âne d'or).

Étape dans le chantier engagé depuis plus de dix ans par l'auteur sur l'histoire de la scolastique médiévale, le livre d'Alain Boureau est non seulement l'occasion d'examiner un objet de recherche bien circonscrit, mais également de prendre la mesure d'un projet et d'une méthode qui dépassent largement l'« affaire Jean Peckham ». Le savoir scolastique produit dans l'Occident de la fin du Moyen Âge fait partie de ces objets historiques « apatrides », revendiqué tout à la fois par les historiens, les philosophes, mais aussi les spécialistes des sciences, de la théologie ou du langage. Dans ce contexte de confrontations, tantôt fécondes, tantôt conflictuelles, Boureau donne dans l'introduction les grandes lignes de sa méthode. La scolastique est analysée sur trois plans. Elle est d'abord le produit d'individualités dont les parcours sont fondamentaux pour interpréter l'ensemble du phénomène historique – c'est pourquoi le livre propose de suivre le cheminement d'un homme, Jean Peckham. Mais la scolastique est aussi un univers de doctrines savantes, et l'historien ne peut faire l'économie d'une bonne maîtrise des enjeux intellectuels de ces textes. Enfin, la scolastique est un « fait social », et ce de plusieurs manières : elle est un univers constitué de groupes sociaux, avec des solidarités et des antagonismes, qui participent aussi de la construction intellectuelle et doctrinale, mais surtout elle entretient des rapports avec l'ensemble de la société de son temps.

L'auteur déploie une histoire « totale » de la scolastique à travers ces trois dimensions – les individus, les doctrines, les pratiques sociales – en s'appuyant sur le parcours de Peckham, en particulier dans ses moments de conflictualité, qui mettent en évidence le jeu des forces intellectuelles et sociales au sein des savoirs médiévaux. C'est pourquoi le point de départ de son propos (chap. I) est une condamnation promulguée en 1286 par Peckham, franciscain, maître en théologie, archevêque de Cantorbéry. La procédure et le contenu de cette censure visant un certain nombre de thèses théologiques sont étudiés en détail, de manière à reconstituer la généalogie de l'affrontement et les camps en présence. Émerge ainsi le véritable enjeu du débat, le statut du corps mort, et plus particulièrement du corps mort du Christ, avant sa résurrection. Boureau poursuit donc son enquête dans cette direction, et montre (chap. II) comment ce corps mort était pensé par certains auteurs scolastiques à partir de la notion de « forme substantielle unique ». Ce passage d'un chapitre à l'autre est caractéristique : à partir du texte de 1286, l'auteur

épuise successivement chaque piste, en dépliant progressivement le sens de la condamnation. La théorie de la forme substantielle unique postule que « l'homme, comme toute substance du monde [...], se constitue par l'action d'une forme, et d'une seule forme, sur une matière » (p. 39). Boureau montre la genèse de cette notion dans la scolastique du XIII^e siècle : sa naissance ne semble pas conflictuelle, mais son développement par Thomas d'Aquin et Albert le Grand, dans une perspective aristotélicienne, est fortement contestée dans les années 1260, en particulier par Bonaventure, ce dernier inspirant une génération de Franciscains prête à en découdre avec la pensée thomiste dans les années 1270. Ainsi, les crises doctrinales qui secouent l'université de Paris dans les années 1270 sont étroitement liées à des conflits sociologiques, comme la rivalité entre Franciscains et Dominicains. La reconstitution minutieuse de l'affrontement montre comment la thèse thomiste est contrée par des arguments augustinien, en particulier chez Robert Kilwardby, puis chez Henri de Gand et Pierre de Jean Olivi, tandis que le débat, cantonné au départ à la philosophie naturelle, est progressivement pris en charge par la théologie. La condamnation de 1286 s'éclaire donc une nouvelle fois, sous un autre angle : Peckham condamne la forme substantielle unique, au terme d'années de débat, parce qu'elle pose, du point de vue théologique, des problèmes graves sur le statut du cadavre du Christ.

L'enquête se déplace alors une nouvelle fois : après avoir établi que le texte de 1286 visait la forme substantielle unique, puis avoir retracé l'affrontement autour de cette notion, l'auteur aborde maintenant son lien avec le cadavre du Christ (chap. III) en remarquant le processus de « théologisation » du débat : la forme unique est condamnée non pas pour son application philosophique originelle, mais pour les conséquences théologiques qu'on pourrait en tirer. Ce chapitre est l'occasion de mêler à l'histoire des doctrines savantes une anthropologie de la société médiévale : la question du statut du cadavre n'est pas seulement un *casus*, mais une réalité, par exemple dans la pratique de la division des corps des souverains, ou bien dans le cas des reliques. Dans toutes ces situations, le problème est le même : un cadavre, est-ce un homme ? La dimension théorique du problème rencontre des pratiques concrètes : le sang du Christ, qui est séparé de la forme qui faisait l'unité de l'homme et de Dieu, peut-il avoir conservé sa sacralité, et donc être l'objet d'un culte ? Le sens commun chrétien le voudrait, mais la raison scolastique, du moins chez les Franciscains, considère que non, à cause de la négation de la « forme unique » : l'homme est un agrégat qui peut être défait, et dont les parties ne conservent pas la nature de l'ensemble. C'est finalement Henri de Gand, en 1276, qui donne sa formulation achevée au problème : pour lui, le corps ne peut avoir une forme unique puisque pendant que le cadavre du Christ était au tombeau, son âme était descendue aux Enfers. Si le corps du Christ est resté celui d'un homme pendant ce temps (ce qui est une nécessité), c'est bien qu'il était pourvu d'une forme propre, qui ne peut pas être une forme unique substantielle. Cette position est une attaque en règle contre les thèses de Thomas d'Aquin, qui jouent ici un rôle central à l'arrière-plan : la condamnation de 1286 prend sa source chez Henri de Gand, et vise au premier chef le thomisme des Dominicains.

Le chapitre IV est donc consacré à la confrontation de Thomas avec Peckham, par la reconstitution de leurs parcours et surtout de leurs désaccords, ce qui donne lieu à une biographie intellectuelle du maître franciscain, protagoniste majeur des conflits scolastiques des années 1270-1280 (même si certains pans de son activité sont laissés de côté, comme son rôle à la Curie et ses recherches en optique). En contrepoint de ce chapitre, les chapitres V, VI et VII modifient une nouvelle fois le point de vue ; la condamnation de 1286 n'est plus inscrite seulement dans un débat théologique ou une rivalité rancunière contre Thomas, mais aussi dans la pratique ecclésiastique de Peckham. L'homme ne se résume pas à sa carrière de théologien, puisqu'il devient aussi archevêque en 1279, et Boureau cherche également de ce côté des éléments pour éclairer l'épisode de 1286. En montrant les responsabilités de gestionnaire de Peckham, le fait qu'il était consulté par d'importants laïcs ou ses ambitions réformatrices, l'auteur mesure l'influence de la pratique d'un homme d'Église sur sa réflexion théologique. L'attention se porte tout particulièrement (chap. VI) sur la visite pastorale de Peckham à Oxford en 1284 : la distance entre l'Archevêque et les théologiens est devenue de plus en plus importante, d'autant que ses anciens adversaires parisiens ont conquis entre-temps des positions fortes à l'université d'Oxford. La violente censure de 1286 est aussi à placer dans le fil d'un parcours qui éloigne Peckham du milieu universitaire, et qui le pousse à traiter sans bienveillance les spéculations théologiques dont il ne maîtrise plus bien les nouveautés. Enfin, le chapitre VII analyse une dernière péripétie de la vie de l'Archevêque, l'affaire « Thomas de Cantiloupe », qui contribue également à expliquer la crise de 1286. Thomas de Cantiloupe, évêque d'Hereford, était mort en 1282, alors qu'il allait plaider auprès du pape contre une sentence d'excommunication fulminée contre lui par Peckham. Lorsque ses ossements furent rapatriés, ils se mirent à saigner dans la province de Cantorbéry, accusant ainsi Peckham d'avoir fait un martyr. Les relations entre les deux hommes avaient été complexes : ils s'opposaient par leur milieu social (Jean était d'origine modeste, au contraire de Thomas), et même si Thomas avait été l'élève de Jean, le conflit éclata au sujet des juridictions respectives des deux prélats. Malheureusement pour Peckham, accusé de s'être acharné sur Thomas, ce dernier, dès sa mort, eut la réputation d'être un saint : c'est pourquoi l'épisode du saignement du cadavre, qui mettait Peckham face à la croyance populaire, est si crucial.

Arrivé au « cadavre qui saigne », Boureau repart vers la spéculation savante (chap. VIII), pour montrer comment l'épisode, intégré dans une réflexion théorique, a pu également peser sur la censure de 1286, et venir renforcer la détermination de Peckham. L'auteur montre comment la cruentation, ce saignement du cadavre, est progressivement problématisée par la scolastique, qui pose la question de la valeur juridique du saignement, ainsi que celle de son lien avec les sciences naturelles (est-il miraculeux ou non ?). C'est une très belle démonstration de la façon dont l'Université a pu s'emparer de questions pratiques de la société médiévale en leur faisant subir une torsion profonde, de manière à construire des objets de spéculation scientifique. L'auteur montre finalement un Peckham écartelé, tentant d'avoir une attitude cohérente entre sa pratique d'archevêque et sa réflexion intellectuelle.

Ainsi s'achève la généalogie de la condamnation de 1286, dont l'auteur a pu exposer les dimensions intellectuelles, sociales, mais aussi pratiques. Le neuvième et dernier chapitre examine les conséquences de l'épisode de 1286 sur la vie de Peckham en particulier et la vie intellectuelle de la fin du XIII^e et du début du XIV^e siècle en général. Boureau montre la postérité de la question de la forme unique et du cadavre chez des auteurs comme Guillaume d'Ockham, Godefroid de Fontaines, ainsi que plus généralement dans la conception du changement, du mouvement ou de l'Immaculée Conception. Le triomphe de la forme unique au concile de Vienne, en 1311-1312, marqua l'échec final de Peckham, qui était mort en 1292.

L'épilogue du livre dégage les grandes lignes de la réflexion. Le parcours de Peckham et ses malheurs sont l'objet d'un bilan sociologique et intellectuel, et plus largement, ils sont l'occasion de s'interroger sur les censures, qui ont fait l'objet de nombreuses études d'histoire intellectuelle. L'auteur révèle le manque d'efficacité de la censure de 1286, tout en remarquant ses effets, ce qui est très différent. Elle est productrice d'instruments conceptuels nouveaux, même si la rencontre entre les croyances et la scolastique est manquée, puisque la scolastique ne s'empare du cadavre qui saigne que pour le transformer et en faire un pur objet spéculatif. La démarche scolastique témoigne de la volonté de construire une connaissance scientifique à partir de cas limites théologiques, ce que l'auteur appelle les « grandes cibles sacrées », comme le cadavre du Christ, ou la conception de la Vierge. C'est en ce sens que l'aspect le plus original de la démarche générale d'Alain Boureau est illustré par ce livre : il s'agit pour lui de construire une « anthropologie scolastique » en jouant sur le double sens du mot, anthropologique historique de la scolastique peut-être, mais surtout étude historique de la scolastique en tant qu'elle fut elle-même une anthropologie. La scolastique est non seulement un objet d'étude, mais aussi, dans une approche réflexive, une théorie de l'homme, qui est partie prenante dans la construction des savoirs occidentaux dont nous sommes les héritiers, et dont il faut restituer la logique historique.

Au total, *Jean Peckham* constitue un ouvrage remarquable par l'intérêt de son sujet, mais surtout par la nouveauté, l'originalité et l'efficacité de sa méthode. Jusque dans sa construction narrative, le livre se veut expérimental. À partir du texte de 1286, chaque chapitre aboutit à un nouveau problème qui ouvre à son tour le chapitre suivant, et le lecteur parcourt le livre comme une succession de pièces en enfilade – s'apercevant finalement qu'il est revenu à son point de départ, mais qu'il connaît désormais l'agencement de l'édifice. *Jean Peckham* n'est pas une biographie : l'individu est une clef de voûte épistémologique, mais aussi littéraire (le livre aurait d'ailleurs pu s'appeler, selon l'auteur, « l'archevêque et les cadavres ») d'une recherche qui vise moins à désigner des causes – souvent suspectes – à la condamnation de 1286, qu'à en restituer les conditions, démarche moins facile, mais couronnée de succès.

William Graham Lister RANGLES, *The Unmaking of the medieval Christian cosmos, 1500-1760. From solid heavens to boundless aether*. Aldershot, UK-Singapore, Ashgate, 1999. 16 × 24, xv-274 p., ill., bibliogr., index.

L'ouvrage de William Graham Lister Randles décrit le long et progressif effondrement du cosmos médiéval chrétien depuis son établissement au XII^e siècle, avec l'importation des manuscrits d'Aristote et leur confrontation avec le récit de la genèse, jusqu'à sa disparition dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, avec la permission donnée par les autorités ecclésiastiques romaines d'enseigner la théorie de l'héliocentrisme. L'auteur tente une histoire des relations entre la science et la religion en choisissant comme objet d'étude l'idée des cieux. Cette idée semble particulièrement appropriée à une telle entreprise, se situant à la croisée de la science nouvelle qui se développe grâce à des observations astronomiques plus précises et plus nombreuses et des polémiques théologiques issues de la Réforme et de la Contre-Réforme. Cependant, l'un des intérêts de ce livre tient à la stratégie de l'auteur, qui évite d'opposer la figure de la science nouvelle triomphante, strictement rationnelle, et celle d'une Église catholique figée et conservatrice. Certes, il met en évidence l'opposition majeure entre l'Église réformée plus critique à l'égard d'Aristote et plus ouverte aux preuves astronomiques et l'Église catholique inféodée à un aristotélisme sclérosé. Mais il insiste également sur les tentatives courageuses de certains théologiens catholiques, notamment d'auteurs italiens et portugais, pour intégrer ces nouvelles preuves scientifiques à leurs doctrines. Cette opposition entre les deux Églises concernant l'accueil qu'elles font aux découvertes sur la nature matérielle des cieux rythme l'ouvrage en ordonnant l'étude thématique selon un plan binaire, Europe du Nord protestante et Europe du Sud catholique. Pendant la longue période du Moyen Âge, les théologiens scolastiques se sont efforcés de travailler à une synthèse cohérente entre le récit de la Création de la genèse et les conceptions physiques et astronomiques des Anciens. Le premier chapitre décrit cette lente élaboration où toutes les philosophies grecques – aristotélicienne, platonicienne et stoïcienne – sont mises à contribution. L'auteur présente, tout d'abord, les trois modèles de cieux qui prônent une telle synthèse, celui du Pseudo-Clément (325-380), celui de saint Basile (329-379) et celui d'Isidore de Séville (570-636), qui tous s'organisent autour de trois traits fondamentaux considérés par l'auteur comme les caractéristiques majeures du cosmos médiéval chrétien : l'empyrée, un concept théologique qui désigne un au-delà des cieux, demeure des bienheureux ; le firmament, un concept biblique assimilé à la sphère des étoiles fixes ; et, enfin, le ciel des sept planètes dont on interroge la nature solide ou fluide. La difficulté d'accommoder les principes aristotéliens avec la doctrine chrétienne est examinée dans les écrits de Robert Grosseteste, Guillaume d'Auvergne, Albert le Grand, saint Thomas d'Aquin, Gilles de Rome et Alphonse Tostado. Une attention toute particulière est accordée à la question de l'usage des cinq sens dans l'empyrée, et l'auteur estime que les efforts menés par les théologiens pour découvrir des issues aux difficultés de cette question précise ont peut-être servi à se libérer du carcan de la pensée aristotélicienne. Il est intéressant de noter que le concept basilien d'un premier ciel ou empyrée assimilé à une lumière incorporelle,

antérieure à la Création, annonce à la fois les reproches adressés par les Jésuites à Descartes quant à la nature nécessairement indépendante de son étendue indéfinie et la confusion entre le corporel et l'incorporel que Descartes stigmatise à son tour chez Henry More et qui sera reprise par Isaac Newton.

Le deuxième chapitre étudie la résurgence, à la Renaissance, des concepts néo-platoniciens et stoïciens d'un ciel liquide ou aérien et la requête humaniste d'étudier les textes dans leur langue originelle. D'où la restauration du sens hébreu du terme « Firmament » (*Rakiah*) qui ne signifie pas ferme mais étendu. Les théologiens protestants, comme Martin Luther, Philipp Melancton et Jacob Ziegler, adoptent la conception d'un ciel liquide ou aérien, et contestent l'existence de l'empyrée, suivant en cela l'enseignement du théologien catholique Gabriel Biel qui a montré que les âmes ne pouvaient y résider, n'étant pas soumises à la notion de lieu. Le protestant italien Girolamo Zanchi propose la notion de lieu non physique pour désigner l'empyrée. Quant aux théologiens catholiques, le consensus est loin d'être fait : Agostino Steuco est mis à l'Index en 1583 et en 1596 pour avoir soutenu la nature créée et éternelle de l'empyrée ; sur le front des conservateurs, les jésuites espagnols Luis de Molina et Francisco Suarez s'opposent à Steuco et procèdent à une nouvelle aristotélisation des cieux qui sera abandonnée par les théologiens catholiques au XVII^e siècle placés devant les nouvelles preuves astronomiques. Le sixième chapitre est entièrement consacré à l'étude de la disparition de l'empyrée dès le XVI^e siècle pour les protestants et, près d'un siècle plus tard, pour les théologiens catholiques et sous l'effet des conceptions cartésiennes.

Le troisième chapitre examine les travaux scientifiques qui contredisent la doctrine scolastique des cieux solides et le quatrième leur réception par les érudits. Le premier coup est porté par l'opticien Jean Pena qui affirme que la théorie optique contredit la doctrine aristotélicienne concernant la nature matérielle des cieux, affirmation corroborée par les observations de Tycho Brahé et de Christoph Rothmann, malgré leur désaccord au sujet de la nature de cet air (Rothmann rompt totalement avec la quintessence aristotélicienne et Brahé conserve prudemment la différence entre l'air et l'éther). Enfin, Johann Kepler développe son concept d'un air éthéré fluide (*aura aetherea*) pour remplacer la cinquième essence aristotélicienne. Dans l'ensemble, les protestants adoptent la science nouvelle. Quant aux Jésuites catholiques, la difficulté de maintenir les conceptions aristotéliciennes les conduit à adopter des positions très variées selon leur province d'origine (Espagne, Italie ou Portugal). Le septième chapitre est à cet égard d'une grande utilité en examinant les manuels d'enseignement des universités tant catholiques que protestantes, qui témoignent de cette grande diversité et de la prudence avec laquelle l'optique et l'astronomie nouvelles sont progressivement adoptées par les auteurs catholiques.

La question de l'infini est traitée pour elle-même au cinquième chapitre et donne l'occasion à l'auteur d'établir une double filiation entre Nicolas de Cuse, Giordano Bruno et René Descartes d'une part, et Francesco Patrizi, Henry More, Pierre Gassendi et Isaac Newton d'autre part.

Enfin, le huitième chapitre examine l'impact du cartésianisme et du copernicainisme en Europe. À ce titre, il est intéressant de noter que Descartes est d'emblée

étudié dans certaines universités protestantes et que sa doctrine est, en quelque sorte, importée en France et marquée par sa provenance indépendamment du contenu de ses thèses. Seule sa physique est discutée dans la section des cours de philosophie, habituellement consacrée à la critique des systèmes astronomiques. C'est ce qui explique que l'auteur puisse l'associer à Nicolas Copernic.

L'ouvrage de Randles est un outil de recherche très précieux par la précision avec laquelle il décrit les positions de chacun des protagonistes qui contribuèrent à élaborer une représentation cohérente du monde, malgré le caractère antagoniste ou contradictoire des différentes sources, aristotélicienne, biblique ou astronomique. Cette disparité des sources explique la richesse de la conception médiévale chrétienne du cosmos, mais leur contrariété est également cause de sa disparition progressive.

Solange GONZALEZ

Systèmes de pensée précartésiens. Études d'après le colloque international organisé à Haïfa en 1994, réunies par Ilana ZINGUER et Heinz SCHOTT. Paris, Honoré Champion, 1998. 15,5 × 22,5, v-366 p., index (Champion-varia, 21).

Une dramatique négligence sur le plan éditorial : voilà la première impression qui se dégage de l'apparence formelle de cet ouvrage. La plupart des articles sont abandonnés au stade de « premières épreuves » non corrigées, et abondent en fautes de frappe. Sur les quatorze illustrations de l'article sur les portraits de Paracelse, douze ont été « oubliées », tout comme la totalité des dix-neuf figures de l'article de Monika Grünberg-Dröge intitulé « The role of illustrations in scientific literature in pre-Cartesian times », ce qui rend cette contribution entièrement dénuée de sens. Personne n'a pris la peine de vérifier la langue des articles, ce qui entraîne d'incompréhensibles croisements linguistiques, le cas le plus malheureux étant la contribution d'Anne Eusterschulte, qui porte le titre incompréhensible de « Ficino's concept of soul, spirit and cosmic harmony concerning the influence on Giordano Bruno's natural magic ». Le chef-d'œuvre de cette liste de crimes éditoriaux est cependant le surréaliste index, où l'on trouve non seulement des entrées séparées pour « Aristote », « Aristoteles » et « Aristotle », pour « Allemagne » et « Germany » et, de façon assez symptomatique, pour « Tower of Babel » et « Turris Babel » (etc., etc.), mais aussi où l'entrée « Paul » renvoie en même temps à saint Paul, Paul Oskar Kristeller, Heinz Paul et à Wolfgang Pauli. Que « Pierre » renvoie à un certain nombre de personnes portant un tel prénom ou nom de famille, ainsi qu'à la « pierre philosophale », découle tout simplement de la logique de l'« écriture automatique » de cet index, qui se termine sur une virgule, après « Venice », sans mentionner le nom du premier éditeur ni « Vitellio », ni « Xenophanes », etc.

La deuxième impression, qui concerne la cohérence de l'ouvrage, ne s'avère que légèrement plus favorable. Quiconque, en se fondant sur le titre du livre, attend

des contributions sur les « systèmes de pensée précartésiens » sera bien déçu. Comme l'explique l'introduction, le « Colloque international à Haïfa », pour lequel à l'origine ces contributions étaient écrites, était « un projet commun de recherche portant sur Paracelse et le paracelsisme européen » (p. 1). En effet, la plupart des articles portent sur Paracelse, ses sources et son influence. Mais alors, pourquoi la dénomination de « systèmes », et pourquoi l'adjectif « précartésiens » ? Ce mystère n'est expliqué nulle part, mais à partir de remarques faites par plusieurs auteurs s'impose l'évidence qu'ils adoptent une interprétation perverse de la notion d'« épistémè » de Foucault, dont ils font usage pour signifier que Paracelse était le champion de la pensée holistique de la Renaissance et Descartes le mauvais père d'un monde froid de la machine. Ilana Zinguer pense que, pendant la période magique de la Renaissance, « les sciences constituaient un bloc dont les ramifications se consolidaient les unes les autres » (p. 11). Roland Edighoffer ajoute que cette « science précartésienne » était à la fois « épistémè et gnosis, une science totale » (p. 333). Mais cet état heureux de totalité avait un désavantage : Zinguer cite Koyré selon qui la Renaissance aurait été caractérisée par « une crédulité sans borne » (p. 111). Or, si cela est vrai, on se demande comment un âge si crédule et dépourvu de sens critique ait pu produire de quelconques « systèmes » ! Et bien entendu on ne sera pas étonné de ne rencontrer aucun système dans cet ouvrage, malgré le fait que la littérature philosophique des XVI^e et XVII^e siècles ait produit un nombre important de réels « *systemata* ». Au lieu de cela, Bruno Pinchard soutient de manière convaincante que, pour le lecteur de l'œuvre de Paracelse, « le sentiment est celui de découvrir une mythologie se constituant, qui a renoncé à rendre raison de ses principes selon un concept » (p. 143). En fait, les articles de cet ouvrage retracent une variété d'idées situées soit à l'intérieur de l'âge magique du holisme, soit, comme Christoph Dröge semble le préférer, sur « *the long road of pre-Cartesian thought towards the gates of the magic garden of modern science* » (p. 271).

La troisième impression, produite par la qualité des contributions individuelles, est heureusement la plus favorable. Bien qu'une bonne partie des vingt articles adopte l'idée abusive selon laquelle, pendant la Renaissance, tout avait à faire avec tout (ce qui explique notamment les explications confuses des théories anciennes et modernes de la matière données par Ilana Zinguer, p. 171, et Wilhelm Schmidt-Biggemann, p. 307), d'autres articles fournissent d'importantes contributions dans le domaine de l'histoire des idées. Le volume s'ouvre sur le texte hautement informatif de Wolfgang Neuser sur un certain nombre d'idées de la Renaissance concernant le statut ontologique des mathématiques, où il compare entre eux le *judicium* de Ramus, les *proprietates* de Patrizi, la *figuratio* de Bruno, les *ideae divinae* de Kepler, et le *substratum naturae* de Galilée. Dans son article, Peter Dilg réussit à montrer que, malgré les révolutions médicales du XVI^e siècle (les nouvelles plantes médicinales venues du Nouveau Monde, le paracelsisme, le néogalénisme humaniste), le fonds pharmaceutique de la *materia medica* est resté presque entièrement inchangé. Volker Roelcke tente également avec succès de démontrer que les notions de « contraction » et d'« expansion » étaient à la base de toute une série de croyances scientifiques et philosophiques de Robert Fludd, y

compris la transmutation de la matière et la circulation du sang. Ces articles sur certains aspects individuels de la philosophie et de la science de la Renaissance sont rassemblés autour d'un groupe de contributions portant sur Paracelse et le paracelsisme. Et, à l'intérieur de ce groupe, on trouve un noyau d'arguments qui traitent spécifiquement du rapport entre le paracelsisme et la Kabbale. Christoph Dröge retrace la « Jewish and humanist thought in the works of Paracelsus », et parvient à dégager une série de croyances kabbalistiques et hermétiques qui ont exercé une influence directe sur Paracelse. De façon similaire, Heinz Schott, qui examine l'imagerie de la lumière et du feu chez Paracelse, aboutit à certaines sources kabbalistiques. Le fait que les idées kabbalistiques et le paracelsisme se trouvaient mêlés même encore au XVII^e siècle fait l'objet de la démonstration de Roland Edighoffer, qui identifie certaines des sources de la *Fama Fraternitatis* rosicrucienne.

Cependant, étant donné l'usage multiple et l'abus fait des idées kabbalistiques, l'existence de douzaines de faux travaux de Lull et de Paracelse, et la relation difficile entre chrétiens et juifs à l'époque de Paracelse, il faut bien sûr être extrêmement prudent lorsqu'on fait usage de ces termes pittoresques. C'est pourquoi le mieux serait pour tout lecteur de ce volume de commencer sa lecture par l'excellent essai de Jean-François Maillard, intitulé de façon sommaire « Vicissitudes et avatars de l'hermétisme et de la Kabbale à la fin de la Renaissance », qui retrace avec une grande précision terminologique les relations historiques et conceptuelles mouvantes qu'ont entretenues ces deux groupes de croyance et de pratiques au cours des siècles.

Christoph LÜTHY

Jean-Pierre SCHANDELER, *Les Interprétations de Condorcet. Symboles et concepts (1794-1894)*. Oxford, Voltaire Foundation, 2000. 15,5 × 24, xx-333 p., bibliogr., index (SVEC, 2000 : 03).

C'est un plaisir réel que de pouvoir signaler à l'attention de ses lecteurs potentiels un ouvrage qui le mérite sans presque aucune réserve. Irréprochablement instruit par l'érudition vraie qui résulte d'une longue et persévérante enquête, irréprochablement écrit d'une main sobre, ferme et précise – en dépit de quelques coquilles et d'un index lacunaire –, pourvu d'une fort utile bibliographie et d'un recensement des éditions et des traductions de l'*Esquisse*, le travail de Jean-Pierre Schandeler ne constituera pas seulement ce qu'il est convenu d'appeler un excellent « instrument de travail » au sens où il se présenterait comme une somme impressionnante d'informations qu'il aurait enregistrées avec méthode – ce qui ne serait déjà certes pas si mal ! Il est aussi, et surtout, destiné à mettre en cause précisément la « méthode » en élaborant un nouveau type d'objets qui ne pouvait prendre forme que par le décloisonnement méticuleux de pratiques dont l'académisme a au contraire pour mission de garantir les frontières, et cela sans jamais succomber

pour autant à l'éclectisme brouillon qui permet de parler n'importe comment de n'importe quoi. Non, il s'agit bien d'un ouvrage de références au sens où il met en œuvre une déontologie inédite qui impose ses règles avec la modestie qui sied à l'efficacité. S'il fallait souhaiter quelque chose à l'auteur, ce serait alors ceci : que ni l'une ni l'autre ne lui portent excessivement préjudice !

L'enquête n'est ni un commentaire sur Condorcet et les Lumières, ni une histoire des idées politiques au siècle suivant. Au lieu de se demander encore une fois : « Qu'est-ce que les Lumières ? », Schandeler préfère montrer ce qu'on en a fait, c'est-à-dire comment elles firent l'objet d'une « assimilation » qui fut aussi bien leur constitution rétrospective : on inventa les Lumières en se les appropriant. C'est alors seulement, si l'on prend conscience de ce double processus, c'est-à-dire si l'on comprend ce que sont *nos* Lumières (p. 1), celles dont nous nous réclamons aujourd'hui, à des fins militantes, comme d'un donné alors qu'il s'agit d'une construction *post festum*, c'est seulement donc si l'on prend conscience de cela que l'on peut se demander ce que put bien être réellement cette incroyable effervescence dont, sous le nom de « Lumières », nous avons fait notre glorieux, mais indéfinissable, patrimoine. Voici donc ce qui est en jeu : non seulement affirmer, mais encore prouver, à partir du cas exemplaire de Condorcet, qu'il faut être dix-neuviémiste *avant* d'être dix-huitiémiste et *pour* pouvoir l'être avec quelque efficacité. Gageons par conséquent que la prochaine étape de cette œuvre naissante se présentera comme un regard enfin naïf sur lesdites Lumières, à l'éclat alors renouvelé...

Mais en quoi donc Condorcet peut-il être dit « exemplaire » ? En ce qu'il fut à la fois philosophe de haute volée et acteur d'une révolution que l'on n'en finit pas de prétendre achever ? En ce qu'il fut à la fois l'ultime représentant des « Lumières » et le promoteur d'un temps nouveau qu'il conjugua toutefoix encore au pluriel, celui du Progrès, en référence auquel toutes les polémiques du siècle suivant devaient, positivement ou négativement, se déployer, y compris quand elles s'efforcèrent de le disjoindre d'avec la mathématique sociale et l'instruction républicaine, soit les deux autres grands thèmes qui définirent l'héritage incertain de Condorcet. Et peut-être est-ce justement parce que ce temps lui-même s'est irrévocablement défait sous nos yeux « comme à la limite de la mer un visage de sable » que, d'un seul coup, Condorcet redevient perceptible derrière « Condorcet », son homonyme rétroactif alors déchiffrable comme tel.

On aura donc compris qu'étudier les *interprétations* de Condorcet, ce n'est certainement pas plus analyser son *influence* que sa *réception* : dans les deux cas, en effet, on présupposerait l'existence de Condorcet sans guillemets, c'est-à-dire d'une œuvre donnée et réductible à des significations identifiables et identifiées une fois pour toutes par l'auteur comme par son lecteur, et dont l'on chercherait simplement à montrer quelles altérations elles produisirent ou subirent. Aussi bien, Schandeler ne croit pas aux « trahisons » (p. 284-285) : pour qu'il y ait trahison, il faudrait d'abord qu'il y eût un texte univoque, identique à lui-même et toujours disponible. Mais on se gardera aussi bien d'admettre, au contraire, qu'il faudrait se donner pour objet l'*effectuation* d'une œuvre qui aurait accompli tout ou partie de sa puissance dans les lectures qui en auraient été faites et qui, loin de lui être

infidèles, lui auraient permis de produire ses effets – comme si Condorcet s'était réalisé, plus ou moins aléatoirement, dans « Condorcet » (voir Pierre Macherey, *Histoires de dinosaure. Faire de la philosophie, 1965-1997*, Paris, Presses universitaires de France, 1999, p. 103).

Pour mieux esquiver ces divers canons méthodologiques, Schandeler met en œuvre deux grands instruments, une périodisation et une distinction. La périodisation va de la mort de Condorcet (1794) au centenaire de celle-ci tel qu'il fut mis en scène par la III^e République – « après 1894, Condorcet est un héros de la République » (p. 10). Et ce siècle doit être subdivisé en trois périodes qui se chevauchent plus qu'elles ne se succéderaient exactement. De 1792 à 1805, c'est l'exploitation de Condorcet par les Idéologues qui publient l'*Esquisse* et vantent Condorcet-Socrate contre Robespierre le Vandale, mais qui demeurent au fond très réticents à la perfectibilité indéfinie comme à la mathématique sociale et à un système d'enseignement qui prétendait homogénéiser l'élémentaire au supérieur. La deuxième va du premier Empire à 1870 et met en regard, d'un côté, la fonction ambivalente de précurseur que Saint-Simon et Comte confèrent à l'auteur de l'*Esquisse* avec, d'un autre côté, les bio/hagiographies qui, à travers Condorcet, réécrivent emblématiquement la Révolution à coup d'anecdotes bien choisies – ici, les analyses des textes d'Arago et de Sainte-Beuve forcent l'admiration. La troisième période, enfin, s'étend de 1870 à 1894 et montre comment s'opéra la « canonisation républicaine » dont Jules Ferry fut l'un des principaux artisans.

Mais il faut encore croiser cette périodisation, un peu bancal peut-être, avec une distinction cardinale qui, comme l'indique le sous-titre de l'ouvrage, oppose les symboles aux concepts, soit deux grands « types discursifs » qui s'attachent respectivement à la figure (héroïque ou fanatique, c'est selon) et aux thèses, sans qu'on puisse jamais bien sûr les dissocier radicalement (p. 9-10 et 221-222). Le discours symbolique n'ignore pas les concepts, il les contourne plutôt pour mettre en scène autre chose, un récit édifiant ; le discours conceptuel n'ignore pas non plus les symboles car il ne saurait jamais en être tout à fait pur. C'est pourquoi toute interprétation de Condorcet *intrique* les deux registres, elle les monte comme on le dit d'un bijou, et le problème est de savoir comment l'un domine l'autre et parvient, plus ou moins rigoureusement, à se le subordonner (voir les belles analyses de Michelet et Larousse, p. 179-180). Au lieu donc de s'en remettre aux divisions d'une polémologie paresseuse qui admettrait l'existence stable d'antagonismes facilement étiquetables – républicains/libéraux/socialistes... –, Schandeler fait apparaître des configurations mouvantes où les clivages traversent les camps eux-mêmes, de telle sorte, par exemple, que ceux que l'on a pris l'habitude d'appeler « républicains » apparaissent comme ne s'étant pas toujours accordés, loin de là, sur ce qu'il fallait faire des Lumières en général et de Condorcet en particulier.

On comprend peut-être mieux alors comment celui-ci, soustrait à la gangue interprétative qui a fini par le recouvrir au cours de tout un travail dont cet ouvrage est l'analyse magistrale, peut révéler en creux un nouveau visage, autrement énergique que celui du plat partisan des Lumières et des femmes, des Noirs et de la laïcité.

La dernière partie de ce livre devrait, en particulier, être impérativement lue par tous ceux qui, aujourd'hui, se réclament d'une *École* mythique que Condorcet aurait conçue et Ferry enfin réalisée pour le plus grand bien de la République qui aurait ainsi trouvé sa véritable assise, l'égal accès de chaque futur citoyen au savoir, fondant un véritable régime de l'Universel (voir l'ouvrage désormais classique de Claude Nicolet, *L'Idée républicaine en France*, Paris, Gallimard, 1982, dont celui de Schandeler constitue peut-être la plus fine réfutation à ce jour quand bien même il répugne à la polémique) – à charge pour nous maintenant de défendre cette osmose, pourtant ô combien singulière sinon miraculeuse, de la pédagogie et de la politique contre la barbarie, la mondialisation ou tous les adversaires que l'on voudra. Ce qui est ici montré de manière très convaincante, c'est à quel point l'école de Ferry n'est justement pas celle de Condorcet : sous prétexte de libérer l'élève en l'intégrant à la communauté citoyenne, elle l'intègre en vérité *au lieu de* le libérer (p. 264, 266, 282, 283). Là où Condorcet, en effet, pensait le savoir en opposition au pouvoir, celui-ci étant par essence l'ennemi de celui-là, Ferry conçoit une école militante qui superpose instruction et éducation et qui, modérément égalitaire, par la loi du 16 juillet 1881, n'accordera la gratuité qu'à l'école primaire.

Or, c'est encore du pouvoir comme intrinsèquement corrompueur qu'il est question dans le débat séculaire qui s'est noué autour du concept, irrémédiablement énigmatique, de « perfectibilité indéfinie ». Si, en effet, « tout pouvoir est naturellement ennemi des Lumières » (cité p. 7 et 249), et si celles-ci sont vouées, par essence, à se perfectionner indéfiniment, il faut bien envisager que celui-là s'avère de moins en moins nécessaire, et cela revient à dire que la République elle-même pourrait bien se trouver emportée à son tour dans ce grand processus qui tend, en définitive, à instituer une sorte de révolution permanente, ou plutôt à dissiper toute institution pour autant que chacun parvienne à faire réellement usage de son propre entendement (voir la citation d'Elme Caro, p. 212, et la profonde remarque des p. 215 et 250). Après tout, le gouvernement (républicain ou non), c'est l'institution par excellence, et l'institution, c'est le palliatif décroissant des Lumières. On comprend mieux ainsi que Ferry ait refoulé l'auteur de l'*Esquisse* pour privilégier le pédagogue (p. 144 et 285) – et quel pédagogue ! Et l'on comprend mieux comment se profile ici un autre Condorcet, moins fantomatique, plutôt le contemporain de William Godwin (c'est d'ailleurs Condorcet et Godwin que Malthus discute pour l'essentiel dans la première édition de l'*Essai sur le principe de population* (1798) ; ici Schandeler passe très vite (p. 204-205), mais il est vrai que ce n'est pas son objet puisqu'il s'est restreint au XIX^e siècle français, ce qui est déjà considérable) et du jeune Johann Gottlieb Fichte. Un Condorcet que l'on a alors de bonnes raisons de relire, ce qui reste le meilleur hommage qui puisse lui être rendu.

Bertrand BINOCHÉ

Lorraine DASTON, dir., *Biographies of scientific objects*. Londres-Chicago, University of Chicago Press, 2000. 15,5 × 22,8, ix-307 p., ill., index.

Les *Biographies of scientific objects* réunies sous la direction de Lorraine Daston sont les contributions au colloque « The coming into being and passing away of scientific objects » tenu en 1995 au Max Planck Institute for the History of Science de Berlin. Elles entendent proposer de nouvelles vues sur l'ontologie et la notion d'objet, afin de penser l'apparition et la disparition des objets scientifiques ou de la valeur de scientificité qui leur est attachée. L'ensemble de ces monographies conjugue ainsi l'étude historique avec la réflexion sur l'historicité de la catégorie d'« objet scientifique », voire avec l'explication des transformations catégoriales de la science. Un tel programme rappelle celui de l'épistémologie bachelardienne, tout comme l'ambition de reconstruire l'ontologie, mais il opère par la généralisation du concept d'objet (à toute référence ayant pu valoir scientifiquement) plutôt que par sa spécification dans la science contemporaine. Se réclamant du traité *De la génération et de la corruption* d'Aristote, ce projet s'inscrit dans la tradition du nominalisme anglo-saxon : les « objets » ne sont ici, presque toujours, que les sténographies (des « noms » plutôt que leurs référents hypothétiques) dont on suit la trace dans les livres, et « l'ontologie » consiste principalement à établir les règles lexicologiques et rhétoriques de mise en situation.

Dans l'introduction, intitulée « Le passage à la génération des objets scientifiques », Daston expose les contradictions logiques entre la position absolue d'existence ou de non-existence d'un objet et la narration de sa trajectoire épistémique (qui suppose un début et une fin). En mesurant son degré de « saillance » (« *salience* »), c'est-à-dire les diverses façons par lesquelles des phénomènes auparavant indisponibles viennent à focaliser l'attention scientifique « et sont ainsi transformés en objets scientifiques » (p. 6, ici et dans la suite, c'est nous qui traduisons), elle indique le cadre très souple destiné à accueillir des contributions extrêmement hétérogènes, dont le dénominateur commun serait paradoxalement d'appréhender des cas limites des notions d'objets et de science. L'introduction d'un concept « d'existence relative » prétend ainsi évacuer l'enjeu de la pré-existence et l'opposition entre réalisme et constructivisme. Avec « Preternatural philosophy », Daston retrace l'histoire d'une discipline « extra-ordinaire » : l'explication des phénomènes « par lesquels la nature s'écarte de son cours ordinaire », selon la définition de Bacon. Le *prateter naturam* se prête évidemment bien à la mise en évidence de la volatilité de la saillance : l'envolée puis la chute de la valeur de la corne de licorne, à mesure que le cours de la corne de narval se fait connaître, révèle les faiblesses ontologiques de la science des objets extraordinaires. Car les trois types de saillance que sont l'obscur, le rare et le difficile à concevoir fondent une science sans avenir : l'instabilité de l'obscur renvoie à l'explication par la régularité de l'inexplicablement irrégulier ; la rareté est toujours relative, parfois illusoire ; le difficile à concevoir présente les deux handicaps. Dans ces conditions d'autodestructivité, l'observation du principe de symétrie paraît artificielle, où l'on feint d'ignorer que la science des chimères est elle-même chimérique, et le lecteur sera sans doute surpris d'apprendre que « la

philosophie extraordinaire (*preternatural philosophy*) n'est pas, pour ainsi dire, morte de mort naturelle » (p. 33). La « cannibalisation » par d'autres disciplines invoquée par Daston maintient alors la fiction de l'existence « naturelle » de l'objet, au risque de heurter les historiens des sciences pour qui une psychanalyse de la connaissance doit dissoudre la consistance imaginaire des faux objets. La latitude et l'économie de l'agnosticisme épistémique engendrent donc des distorsions, voire des aberrations (au sens optique), quand sa perspective devient stratégie d'écriture : il faut prévenir toute confusion entre le programme rationaliste d'une épistémologie assumant sa fonction normative (Bachelard) et les descriptions de cette « épistémologie historique », qui mériterait davantage le nom « d'épistémologie historicisée », comme l'indique Yves Gingras dans son compte rendu pour *Isis* de l'ouvrage *Des sciences et des techniques. Un débat* (Paris, Armand Colin, 1998).

La neutralisation des distinctions entre science périmée, sanctionnée ou en progrès, qui intègre au lexique de l'histoire des sciences des « objets » dont la référence ou la scientificité est mal assurée, caractérise plusieurs autres contributions, mais détermine aussi des lignes de résistances axiologiques. « Dreams and self-consciousness » de Doris Kaufmann examine la science des rêves de l'*Aufklärung* et propose un parallèle avec la formation de la psychanalyse par analogie entre deux périodes où la théorisation de la subjectivité se conjugue à l'affirmation d'une identité bourgeoise. « Mutations of the self in Old Regime and postrevolutionary France » de Jan Goldstein adopte aussi l'hypothèse d'un lien entre capitalisme et devenir du « soi » : à partir de Condillac jusqu'à Cousin en passant par les idéologues, l'institution d'une psychologie du moi visait à rétablir la stabilité sociale en éradiquant la version sensualiste du soi, imprégnée de matérialisme et dépourvue de portée morale, tout en réactivant les anciens principes de l'âme catholique. « An entirely new object of consciousness, of volition, of thought » de Peter Wagner joue de l'ambiguïté entre l'histoire de la sociologie (la formation de concepts sur la société) et l'histoire au second degré de la notion de société pour conclure que la référence à la « *society* », en dépit de ses insuffisances conceptuelles, ne disparaîtra que si « une solution supérieure est donnée à la problématique politique » (p. 157). Marshall Sahlins défend lui aussi, dans « "Sentimental pessimism" and ethnographic experience ; or, why culture is not a disappearing "object" », la pérennité d'une notion, la « culture », en dépit de la mutation de sa référence et de son autoréférentialité : il s'oppose ainsi aux discours sur l'âge d'or révolu de l'anthropologie et de l'authenticité. Ces contributions ont en commun de rapporter les évolutions de la saillance à celle de la structure sociale et économique sans établir de partage définitif entre construction idéologique et science.

D'autres travaux débordent ou subvertissent le cadre fixé : Rivka Feldhay, dans « Mathematical entities in scientific discourse », étudie avec minutie la tentative avortée de Paulus Guldin pour former une « physique mathématique » au sein de la théologie jésuite : il démontrait la possibilité théorique du mouvement de la Terre par assimilation du centre du monde aristotélicien au centre de gravité de la physique archimédienne. Analysant finement les résistances théologiques à la construction d'une contemporanéité entre l'espace hétérogène et qualitatif d'Aristote et

l'espace homogène et quantitatif d'Archimède, Feldhay ne s'interroge pas toutefois sur ce caractère « anachronique » qu'elle attribue à Guldin (tout comme ses supérieurs jésuites). Car, qui, des théologiens orthodoxes condamnant l'entreprise ou de Guldin qui tentait de brouiller les lignes entre théologie mathématisée et physique galiléenne, opère la lecture la plus anachronique d'Aristote ?

« The coming into being and passing away of value theories in economics (1776-1976) » de Gérard Jorland consiste en une synthèse récapitulative des transformations du concept de valeur utilisant l'épistémologie bachelardienne pour éviter le discontinuisme radical des relativistes. Il restitue des bifurcations et des rationalisations *a posteriori* dans un modèle qu'on pourrait dire « en cascade » : « [...] une théorie scientifique naît pour résoudre un problème émergent et reste en vigueur tant qu'elle y parvient, c'est-à-dire tant que les autres problèmes qu'elle engendre elle-même sont résolus à leur tour. Et elle disparaît sous la pression de problèmes irrésolus, ce qui peut signifier l'abandon de la résolution qu'elle proposait voire du problème lui-même » (p. 118). Parfois proche des formulations de Larry Laudan dans *La Dynamique de la science* (Bruxelles, Mardaga, 1977), cette approche rationaliste implique toutefois de rétablir la valeur normative du progrès en science.

Le contraste entre épistémologie historique et historicisée est aussi utile pour saisir l'équivocité fondamentale de la contribution de Bruno Latour, l'un des seuls contributeurs à tenter de remplir la partie théorique du programme dans « On the partial existence of existing and nonexisting objects » : en théorisant l'évolution de la saillance comme consolidation ou érosion de l'existence relative des objets, Latour livre une méthode de quantification de la réalité des objets par la mesure de la réticulation technique. Mais la temporalité de cette « existence relative » se trouve absolutisée par le refoulement de la référence à la science actuelle. L'article commence ainsi par une dénonciation de « l'anachronisme » de l'attribution *a posteriori* de la cause du décès de Ramses à la tuberculose et présente la rétroprédiction d'une façon pour le moins déroutante dont Jacques Bouveresse a souligné le caractère fallacieux dans son ouvrage *Prodiges et vertiges de l'analogie* (Paris, Raisons d'agir, 1999). En outre, il symétrise les conceptions de Pasteur et la théorie des générations spontanées de Félix Pouchet pour rappeler *in fine* : « Je ne sais pas pour vous, mais en ce qui me concerne, je vis dans un réseau pasteurien, chaque fois que je mange un yaourth pasteurisé » (p. 263). La tournure protagoréenne du révisionnisme historique étant acceptée comme allant de soi, cet article prolonge le malentendu entre les horizons anglo-saxon et français, d'autant plus que les mêmes matériaux sont employés par Latour dans le chapitre IV de *L'Espoir de Pandore* (Paris, La Découverte, 2001) pour défendre une conception « réaliste » de la science. L'importance du concept « d'enveloppe matérielle » suggère cependant qu'il ne s'agit ni de relativisme ni de réalisme mais, dans l'un et l'autre cas, d'une forme d'idéalisme nominaliste (dont la garantie théologique serait refoulée).

Le texte de Jed Z. Buchwald, « How the ether spawned the microworld », présente aussi des risques de dérapage dans l'uchronie, mais ceux-ci sont tempérés par le fait que son constructivisme se situe explicitement dans l'horizon d'un « microcosme de papier » (p. 212) étudiant des « effets par computation de

papier » (p. 218). L'examen de l'évolution de la structure du microcosme, à partir de la théorie des potentiels de George Green jusqu'à l'épuisement de la notion d'éther, aboutit à l'hypothèse explicative selon laquelle de telles théories ne pouvaient naître qu'en Hollande (où il était possible d'amalgamer différentes traditions culturelles) et qu'elles furent supplantées par les théories modernes parce que celles-ci procuraient aux physiciens des tâches « intéressantes à réaliser et à prendre comme occasion de rivaliser » (p. 225). Hans-Jörg Rheinberger se propose aussi, dans « Cytoplasmic particles », d'élaborer une épistémologie de la recherche et de ses « objets transitoires » qui circulent entre disciplines ou éclatent entre différentes catégories. Il procède à une synthèse ambitieuse, mêlant traditions française (François Jacob, Gaston Bachelard, Georges Canguilhem) et anglo-saxonne (Michael Polanyi, Ian Hacking, George Kubler). L'extrême raffinement des analyses permet d'éviter la plupart des écueils des formulations relativistes ou réalistes, mais la question ontologique censée motiver ce recueil s'en trouve suspendue tout comme elle l'était dans son ouvrage *Toward a history of epistemic things* par une déconstruction derridienne des pièges du substantialisme au profit de l'activité de différences. Enfin, on peut s'interroger sur la pertinence de « Life insurance, medical testing, and the management of mortality » de Theodor M. Porter dont l'objet est l'évolution des normes d'évaluation des risques par les agents d'assurance. L'exposé de l'interdépendance des agents est intéressante mais l'appartenance d'une telle étude à l'histoire des sciences est plus que douteuse.

La disparité entre l'ambition unificatrice proclamée et l'aspect rhapsodique d'une collection d'études de cas rend problématique la perspective « biographique » : elle fonctionne comme une stratégie d'arasement du relief épistémologique, permettant la confrontation non conflictuelle entre plusieurs disciplines et traditions de recherche réunies autour d'un label dont l'extension au premier degré (n'importe quel objet pseudo-scientifique) entraîne la vacuité de la compréhension au second degré (le concept épistémologique d'objet).

Vincent BONTEMS

Georges CANGUILHEM, *Écrits sur la médecine*. Av.-pr. d'Armand ZALOSZYC. Paris, Seuil, 2002. 14 × 20,5, 128 p. (Champ freudien).

À l'heure où la fonction sociale de la recherche médicale apparaît comme un enjeu crucial des politiques de santé, on conseillera ces *Écrits sur la médecine*, cinq articles parus entre 1955 et 1989, qui prolongent la thèse de médecine *Le Normal et le pathologique*, en confrontant, comme les « Nouvelles réflexions concernant le normal et le pathologique » de 1963-1966, la normativité vitale aux normes sociales.

« L'idée de nature dans la pensée et la pratique médicales » (*Médecine de l'homme*, 43, 1972) applique la récurrence de l'épistémologie historique à la médecine. Après avoir reconnu le risque d'une rétrospection « projetant rétroactivement dans le passé les principes théoriques et les préceptes techniques de l'enseignement

médical actuel, [qui] entreprend de juger Hippocrate, comme si l'aval du cours de l'histoire transparaisait dans l'amont » (p. 19), Georges Canguilhem évalue l'héritage hippocratique de la médecine moderne à la lumière de l'évolution des références à la Nature. Tandis que la célébration de la « guérison naturelle » par la littérature d'inspiration naturiste s'expose à être pervertie en une « utilisation astucieuse du désarroi des malades pour la vente de quelque orviétan, même sous forme d'imprimé » (p. 26), la transformation des concepts et pratiques cliniques (au « moment où la médecine fonde son diagnostic non plus sur l'observation de symptômes spontanés mais sur l'examen de signes provoqués », p. 28) justifie *a posteriori* « certaines des intuitions de l'antique médecine naturiste par la découverte progressive de mécanismes d'autorégulation et de stabilisation organiques, dont l'explication est aujourd'hui cherchée dans des modèles de réaction active, autrement dit de *feed-back* » (p. 29). C'est ainsi autant l'héritage bachelardien en épistémologie que celui d'Hippocrate en médecine qui se trouve justifié par la réactualisation de concepts au nom de valeurs rationnelles : « La médecine contemporaine ne peut mieux honorer Hippocrate qu'en cessant de s'en réclamer, elle ne peut mieux célébrer la justesse approchée de sa conception de l'organisme qu'en refusant sa pratique d'observation et d'expectation » (p. 30). L'épistémologie transforme son objet en isolant, par récurrence, ses composantes rationnelles, et trouve son pendant dans la réduction des métaphores : « On peut en faire la psychanalyse et retrouver le visage de la Mère dans la figure de la Nature » (p. 30).

Cette pratique « orthodoxe » de l'épistémologie s'attire de nombreuses critiques quant à sa sublimation d'une science « pure ». Dans « Les maladies », article rédigé pour l'*Encyclopédie philosophique universelle* en 1989, l'auteur instille quelques anticorps contre cette contamination réactive de l'histoire des sciences par le constructivisme social d'analyses marxiste, foucauldienne ou (par avance) latouriste. Si les conditions sociales déterminent le « régime » de la normativité biologique et peuvent aller jusqu'à entraîner « une interversion de finalité qui fait de la multiplication et de l'efficacité croissante des actes médicaux et chirurgicaux, dans les sociétés industrielles à haute technicité de protection sanitaire, un risque de multiplication des défaillances du système biologique interne de résistance aux maladies » (p. 38), la variabilité des normes induites ne tend pas tant à imposer un relativisme qu'une prise en compte de la relativité de l'individuation à un milieu : « Manger des fèves équivaut à s'empoisonner pour le Méditerranéen que son patrimoine génétique prive d'une certaine diastase. Le même déficit enzymatique a valu, au contraire, à quelques populations africaines un surcroît de résistance au paludisme » (p. 39). Sans nier les processus de « disciplinarisation » à l'œuvre dans l'institutionnalisation de l'hôpital comme espace d'analyse et de surveillance de maladies cataloguées, construit et gouverné pour fonctionner comme « machine à guérir », ni « l'attention intéressée, à tous les sens du terme, que depuis la même époque les sociétés de type industriel ont accordée à la santé des populations ouvrières » (p. 40), qui témoignent de « l'existence d'une composante de nature sociale, donc politique, dans l'invention de pratiques théoriques actuellement efficaces pour la connaissance des maladies » (p. 41), Canguilhem voit dans la question « Ne doit-on pas également reconnaître des causalités d'ordre sociologique

dans l'apparition et le cours des maladies elles-mêmes ? » (p. 42) le risque de dérives mystifiantes : « [...] il est abusif de confondre la genèse sociale des maladies avec les maladies elles-mêmes » (p. 43).

« La santé. Concept vulgaire et question philosophique » (*Cahiers du séminaire de philosophie*, 8, 1988) dévoile la racine nietzschéenne du concept de normativité (voir Guillaume Leblanc, *Canguilhem et les normes*, Paris, Presses universitaires de France, 1998) et explore l'ambivalence des théorisations du « capital santé ». Antérieur à toute théorisation (« Qui de nous ne parlait pas de ce qui est sain et de ce qui est nuisible avant la venue d'Hippocrate ? », Épictète, *Entretiens*, liv. II, 17, cité p. 49), la santé possède un sens vital, elle est d'abord un concept vulgaire dont toute théorisation s'avère problématique comme « une thèse en attente d'auteur » (p. 54). La contradiction entre le sujet vivant et les critères applicables à la troisième personne constitue la polarité du spectre idéologique de la santé. Car la science véhicule aussi une idéologie : « La diffusion d'une idéologie médicale de spécialistes fait que souvent le corps est vécu comme s'il était une batterie d'organes » (p. 66). Mais la dénonciation de celle-ci est-elle légitime quand elle revient à « préconiser la santé sauvage, le retour à la santé fondatrice, par rejet des scléroses qu'on dit consécutives à des comportements savamment contrôlés, est-ce le moyen de revenir à la vérité du corps ? » (p. 67). Il n'y a certes pas de solution purement technique au problème de la santé, puisque, comme Maurice Merleau-Ponty l'a écrit dans *Le Visible et l'invisible* : « La philosophie est l'ensemble des questions où celui qui questionne est lui-même mis en cause par la question » (cité p. 68).

Dans « Une pédagogie de la guérison est-elle possible ? » (*Nouvelle revue de psychanalyse*, 17, 1978), c'est le problème de la traduction interne au langage savant et des jeux des transferts métaphoriques qui est posé. Guérir, c'est, selon l'étymologie, protéger, défendre, munir, contre une agression ou une sédition. Mais dès le XVII^e siècle, la métaphore militaire cède à la représentation de l'organisme comme économie. Prenant ici le contre-pied de sa thèse de médecine, Canguilhem rappelle que « l'intégrité organique a été une métaphore de l'intégration sociale avant de devenir matière à métaphore inverse » (p. 74). D'autres sources, comme les principes de conservation ou d'invariance sur lesquels sont fondées la mécanique et la cosmologie de l'époque classique, éclairent l'impureté et la difficile autonomisation des concepts médicaux : « Si l'homéostasie peut sembler, à première vue, comparable avec la conservation spontanée, célébrée par la médecine de l'âge classique, elle ne peut cependant en être tenue pour isomorphe, dans la mesure où l'ouverture sur l'extérieur est désormais tenue pour constitutive des phénomènes proprement biologiques » (p. 76). Dans ces conditions, la psychanalyse de la science ne peut aboutir à l'expulsion complète de toutes les métaphores et le sens même de la pratique thérapeutique exige la permanence d'une dimension mythique : « Si l'augmentation de la durée de vie vient confirmer la fragilité de l'organisme et l'irréversibilité de sa déchéance, si l'histoire de la médecine a pour effet d'ouvrir l'histoire des hommes à de nouvelles maladies, qu'est-ce donc que la guérison ? Un mythe ? » (p. 80). La langue « bien faite » doit intégrer ses propres limitations, « santé et guérison relèvent d'un autre genre de discours que celui dont on apprend le vocabulaire et la syntaxe dans les traités de médecine et dans les

conférences de clinique » (p. 83) et la figure idéale du thérapeute associerait l'objectivité impersonnelle au « don » du guérisseur. Comment respecter l'« être-là pour un devenir non préordonné, dans la hantise de sa fin » (p. 89) ? Le rapprochement fait par Kurt Goldstein entre thérapeute et pédagogue est une piste : « Le médecin qui se décide à guider le malade sur le chemin difficile de la guérison "ne sera en état de le faire que s'il a la profonde conviction qu'il ne s'agit pas, dans le rapport médecin-patient, d'une situation basée uniquement sur une connaissance du type de la causalité, mais qu'il s'agit d'un débat entre deux personnes dont l'une veut aider l'autre à acquérir une structure aussi conforme que possible à son essence" » (p. 92). Ni les proclamations de rupture faussement novatrices des « anti-x », ni sans doute les aménagements réformistes de la formation hospitalo-universitaire (« enseignement de la participation "conviviale" et [...] examens d'aptitude au contact humain », p. 96) ne suffiront. Mais citant (est-ce un hasard ?) la phrase fétiche de Gilles Deleuze (« Toute vie est bien entendu un processus de démolition »), Canguilhem observe que F. Scott Fitzgerald ajoute : « La marque d'une intelligence de premier plan est qu'elle est capable de se fixer sur deux idées contradictoires sans pour autant perdre la possibilité de fonctionner. On devrait par exemple pouvoir comprendre que les choses sont sans espoir, et cependant être décidé à les changer » (*La Fêlure*, Paris, Gallimard, 1963, p. 341, cité p. 99).

L'enjeu des analogies et la nécessité d'un engagement par-delà les modélisations démobilisantes étaient déjà au centre de l'article intitulé « Le problème des régulations dans l'organisme et dans la société » (*Cahiers de l'Alliance israélite universelle*, 92, 1955) très proche de la thèse *Le Normal et le pathologique* : « L'assimilation usuelle tantôt savante et tantôt vulgaire, de la société à un organisme est-elle plus qu'une métaphore ? » (p. 102). Canguilhem y relève que « l'assimilation de l'organisme à une société, c'est l'idée de la médication sociale, l'idée de la thérapeutique sociale » (p. 106), puis que le prolongement de la notion de « milieu intérieur » (Claude Bernard) par « l'homéostasie » de Walter Cannon, s'il produit un gain dans l'ordre de la modélisation, ne garantit aucune légitimité supplémentaire à sa transposition à la société. La conception de la dialectique sociale comme autorégulation est simpliste comparée aux réflexions contemporaines : là où l'autorégulation pense de manière symétrique le progrès et la réaction, Henri Bergson, dans *Les Deux Sources de la morale et de la religion*, ouvre l'horizon d'un engagement universel contre les dérives d'une société entière. La remarque qu'une « société est plutôt de l'ordre de la machine ou de l'outil que de l'ordre de l'organisme » (p. 120) anticipe sur la critique du concept d'homéostasie par Gilbert Simondon, en même temps qu'elle use philosophiquement de la récurrence en réactualisant Bergson : « Le signe objectif qu'il n'y a pas de justice sociale spontanée, c'est-à-dire pas d'autorégulation sociale, que la société n'est pas un organisme et que par conséquent son état normal est peut-être le désordre et la crise, c'est le besoin périodique du héros qu'éprouvent les sociétés » (p. 123). La conclusion normative « que la société n'est pas un organisme, qu'on ne doit pas laisser dire qu'elle peut s'apparenter à un organisme », confirme l'image rigoriste caractéristique de Canguilhem (p. 124).

Vincent BONTEMS

PHILOSOPHIE

Dans quelle mesure la philosophie est pratique. Fichte, Hegel. Sous la dir. de Myriam BIENENSTOCK et Michèle CRAMPE-CASNABET, avec la collab. de Jean-François GOUBET. Fontenay-aux-Roses, ENS Éditions, 2000. 14,5 × 20,5, 276 p. (Theoria).

Les douze articles contenus dans ce volume sont les actes d'un colloque qui s'est tenu en avril 1999 à Paris et à Fontenay-aux-Roses. Le titre « Dans quelle mesure la philosophie est pratique » reprend une citation des manuscrits de Iéna de Hegel. La question possède un sens assez précis que l'on pourrait qualifier d'« architectonique » : il ne s'agit pas seulement de déterminer la fin de l'activité philosophique – contemplation théorique ou sagesse pratique – ou la relation entre raison pratique et raison théorique, même s'il s'agit aussi sans doute de répondre à ces interrogations. La question essentielle touche à la hiérarchie des disciplines au sein du système de la philosophie. Elle revient à se demander si la philosophie pratique mérite ou non d'être considérée comme la « philosophie première ». C'est pourquoi elle revêt une importance particulière pour les philosophes qui pensent la philosophie comme système, depuis les stoïciens jusqu'à Wolff, Kant, puis Fichte et Hegel, les deux auteurs qui se trouvent au centre du recueil. Celui-ci comporte trois parties ou axes thématiques : 1) « Statut de la philosophie pratique dans l'idéalisme allemand » ; 2) « Nouvelles orientations de la philosophie pratique : intersubjectivité, droit et économie politique » ; 3) « Perspectives contemporaines ».

1) La citation de Hegel qui prête le titre au recueil contient une référence assez directe à Fichte, penseur d'une métaphysique pratique fondée sur une intuition intellectuelle du Moi dont l'essence est agir. Les contributions de Bernard Bourgeois et d'Isabelle Thomas-Fogiel qui ouvrent le recueil cherchent à préciser le sens de ces notions d'action et d'agir. Clarifiant le lexique français et allemand de l'action (*Tat, Handlung, Tathandlung, Wirken*, etc.), Bourgeois montre comment, de Kant à Hegel, s'effectue le passage « d'une philosophie de l'agir à une philosophie de l'action » : comment Fichte surmonte l'antinomie introduite par Kant entre agir libre et action naturelle, en affirmant que la liberté n'est telle qu'en tant qu'elle se réalise dans le monde naturel. Mais c'est Hegel que l'auteur considère comme le premier philosophe de l'action en ce qu'il pense pleinement les conditions de l'effectivité réelle qui la caractérise : l'action ne peut être pensée que comme coaction humaine, elle ne peut être pensée au niveau de la moralité individuelle mais présuppose comme cadre la vie éthique. Ce qui conduit en même temps à la

relativisation de l'action pratique : « [...] l'agir vrai, absolu, est création, non pas action » (p. 35) .

Dans son article « La philosophie de l'acte comme fondement du savoir. Fichte », Thomas-Fogiel envisage la philosophie fichtéenne de l'acte comme une réponse à la philosophie kantienne de la représentation. Selon elle, Fichte perpétue une interrogation sur le statut du discours philosophique chez Kant, qui fut initiée, sous des angles différents, par Karl Leonhard Reinhold, Gottlob Ernst Schulze (« Enésidème ») et Salomon Maïmon, dans les années 1790-1793. Pour Fichte, il s'agit de poser plus radicalement la question des conditions de la possibilité du discours philosophique, ce qui le conduit à déterminer l'intuition intellectuelle comme la conscience d'une effectuation, comme saisie immédiate d'un contenu qui n'est pas un objet mais un acte. Et déterminant ainsi l'acte comme un agir de la pensée elle-même et le savoir comme *praxis*, Fichte invite à réviser le partage traditionnel entre les domaines théorique et pratique.

Jean-François Goubet, dans « La critique fichtéenne de l'idéalisme théorique dans l'*Assise fondamentale de toute la Doctrine de la Science* (1794-1795) », analyse la philosophie pratique du premier Fichte, à partir de sa confrontation avec l'idéalisme théorique de Leibniz ou plutôt de la tradition leibnizienne. Si Fichte trouve de l'intérêt à la notion de substance comme force représentative ou activité intelligente, il rejette en revanche la thèse de l'harmonie préétablie, considérant qu'elle fournit une réponse insuffisante, car transcendante et théorique, à la question de l'origine de nos représentations. Le seul point de vue théorique ne peut assumer tout le réel inhérent aux représentations : « Seule l'activité pratique, la causalité réprimée de la tendance, peut donner à l'objet ses qualités constitutives » (p. 69). L'étude de Goubet est accompagnée de notes riches en informations historiques sur les influences de Fichte.

La contribution très fouillée de Claudio Cesa porte sur « La notion de pratique dans l'idéalisme du jeune Schelling » et s'attache à dégager les différents sens que pouvait revêtir le lexique du pratique, à l'époque où le jeune Schelling s'en saisit, chez Kant et ses contemporains. L'auteur montre comment la place centrale qu'occupe ce terme dans les premiers écrits de Schelling dépend de la forte influence de Fichte et, par conséquent, perd son importance dans les écrits ultérieurs où Schelling trouve ses propres voies pour penser une synthèse du théorique et du pratique.

L'article de Rolf-Peter Horstmann, « La critique hégélienne de l'éthique kantienne », prolonge l'interrogation de Cesa sur le lexique du pratique et plus particulièrement sur la distinction entre moralité et vie éthique. Horstmann s'appuie sur une citation du début de la *Philosophie du droit* où Hegel affirme que les principes kantien « détruisent et se dressent contre le point de vue réel de la vie éthique ». L'auteur montre pourquoi une reconnaissance même partielle de la position kantienne est exclue par le concept hégélien de philosophie.

2) Les auteurs de la deuxième partie de l'ouvrage s'intéressent aux relations entre les thèses métaphysiques et les disciplines pratiques particulières – le droit, la morale, l'économie.

Dans « Le droit de propriété chez Fichte », Jean-Christophe Merle montre pourquoi la manière dont Fichte déduit sa définition de la propriété à partir de sa conception du droit est plus radicale et peut-être plus cohérente que celle de Kant ; et comment Fichte accomplit « une véritable révolution copernicienne qui permet le passage des théories jusnaturalistes de l'acquisition aux actuelles théories de la justice distributive » (p. 119).

Dans sa contribution « Reconnaissance et philosophie pratique chez Fichte », Franck Fischbach explique comment entre 1793 et 1798, Fichte est conduit progressivement à valoriser la reconnaissance par autrui comme constitutive de la conscience de soi-même comme être libre. La nouvelle théorie de la reconnaissance qui est développée pour la première fois dans le *Fondement du droit naturel* de 1796 conduit Fichte à réorganiser la hiérarchie des disciplines pratiques et à accorder un nouveau statut au droit comme discipline autonome par rapport à la morale.

Laurent Giassi, dans « De la déduction fichtéenne à la phénoménologie hégélienne. Le concept d'intersubjectivité », s'intéresse lui aussi à la question de la reconnaissance. L'auteur met en relief la différence de méthode, transcendentale pour Fichte et phénoménologique pour Hegel, dont découlent des articulations différentes entre la vie et la liberté.

Norbert Waszek examine le traitement hégélien de cette jeune science qu'est alors l'économie politique. Il montre comment, dès la période de Berne, Hegel lit les théories de certains de ses contemporains, et notamment Adam Smith et sir James Steuart. Ce qui intéresse particulièrement Hegel selon Waszek, c'est d'une part comment cette science nous fait découvrir « la raison gouvernant le monde » et d'autre part comment elle joue un rôle particulier pour l'élaboration d'une conception spécifiquement moderne de la société, dans laquelle une certaine place doit être accordée à l'économie libre de marché pour que la liberté subjective puisse se réaliser complètement.

3) La troisième partie réunit des articles qui mettent l'accent sur certains enjeux contemporains de la philosophie pratique kantienne (André Tosel) et hégélienne (Myriam Bienenstock, Ludwig Siep).

Dans une fine étude comparative, « Le modèle kantien de philosophie pratique face au modèle aristotélicien », André Tosel s'attache d'abord à déterminer le statut anti-aristotélicien de la philosophie pratique kantienne, en montrant comment Kant, d'une part, arrache la *praxis* à la sphère de la contingence que lui accorde Aristote et comment, d'autre part, il recuse l'eudémonisme aristotélicien, au nom d'un formalisme qui exclut les déterminations empiriques et matérielles de la raison pratique. En même temps, Kant retrouve deux motifs aristotéliciens fondamentaux qui, chacun, jouent un rôle central dans le débat politique et moral aujourd'hui : la distinction de l'action et de la production d'un côté (voir Manfred Riedel, Hannah Arendt) et la thématique de l'opinion publique et du sens commun de l'autre (voir Jürgen Habermas, Karl-Otto Apel et la philosophie politique française).

Myriam Bienenstock, dans « La philosophie hégélienne de l'esprit : une philosophie pratique ? », cherche à élucider la dimension pratique de la philosophie de

Hegel, à travers une discussion de la lecture de Hegel que propose le philosophe canadien Charles Taylor. Selon Taylor, Hegel aurait tenté de donner une explication interprétative de l'action, tenant compte de son aspect expressif, au lieu d'en donner une explication causale. L'auteur montre de manière convaincante pourquoi chez Hegel on ne trouve pas un paradigme « expressiviste », et comment il faut plus précisément entendre le « libéralisme » de Hegel. En comparant la démarche hégélienne à celles de Herder, de Dilthey et de la sociologie moderne, l'auteur cherche à préciser le sens des concepts hégéliens d'« esprit objectif » et de « sujet », pour défendre Hegel contre une anthropologisation abusive et pour donner une meilleure appréciation de ce qui reste d'actualité chez Hegel, aujourd'hui.

Ludwig Siep poursuit le même questionnement par un examen très clair de quelques consonances qui existent entre la philosophie hégélienne et certaines théories contemporaines comme celle des systèmes autoréférentiels et réflexifs de Niklas Luhmann, et les analyses de la condition sociale et de la conscience de soi proposées par Axel Honneth et Charles Taylor. Cet examen le conduit à relever certains arguments d'actualité : comme le notait aussi Bienenstock, Hegel maintient le principe d'une subjectivité, et plus précisément celui d'« un pilotage en commun et conscient des systèmes » (p. 252). Hegel pense en même temps le conditionnement réciproque entre la formation rationnelle du moi et l'ordre social et politique. Ce qui permet aujourd'hui de trouver chez Hegel des solutions à la « perte de la forme politique de la vie » diagnostiquée par Taylor et d'autres, c'est qu'il pense à la fois la réflexion en soi du sujet et « sa capacité à la “transcendance de soi” consciente, dans une volonté commune agissant selon des buts délibérément posés » (p. 260).

Stefanie BUCHENAU

Jean-Guy DESCHÊNES, *Le Concept de fondement ou les confessions d'un hypocrite. Réflexions à la manière de Kierkegaard à partir du Concept d'angoisse.* Zurich-Québec, GMB Éditions du Grand Midi, 1999. 12 × 18,5, VIII-135 p.

Peut-on écrire sur Kierkegaard comme on le ferait sur tout autre philosophe ? La question paraît de peu de sens et ce pour deux raisons contradictoires : soit que l'on considère à chaque fois l'irréductible différence de style qui sépare les philosophies et, dans ce cas, on n'écrit jamais à propos de l'une *comme* on écrirait à propos de l'autre ; soit que l'on imagine au contraire ces philosophies appartenir à un même *genre* de discours – ce qui paraît l'option la plus courante que retient le commentaire philosophique – et donc se soumettre à des lois communes de fonctionnement discursif – et, dans ce cas, l'étude, le commentaire, l'exégèse est un exercice qui a tout autant ses lois communes, obéissant à une fin clairement définie et usant de moyens répertoriés et légitimés. On peut encore ajouter une raison supplémentaire qui ne rendrait pas moins stupide la question : on ne voit pas

pourquoi et par la vertu de quel mimétisme vain ou inquiétant le commentaire emprunterait son style à son objet.

Or il est impossible de passer sous silence une telle question lorsqu'il s'agit de Kierkegaard et c'est pour y avoir répondu d'une certaine manière que l'ouvrage de Jean-Guy Deschênes acquiert une forme si particulière, en rien conforme aux usages classiques du commentaire car se voulant en tout point « à la manière de Kierkegaard ». Tous les commentateurs de Kierkegaard se sont heurté un jour ou l'autre au paradoxe de devoir écrire magistralement sur un auteur qui refuse la communication magistrale, d'enseigner un savoir sur celui qui critiquait la forme du savoir, de formuler un discours objectif sur un penseur subjectif qui, chaque fois qu'il le pouvait, soulignait la prééminence de la forme sur un soi-disant contenu objectif. Non pas que le commentateur ait nécessairement à se soumettre aux demandes expresses de l'auteur en matière d'herméneutique, mais, dans le cas de Kierkegaard, négliger la forme pour saisir un simple contenu philosophique risque fort d'aboutir à un contresens généralisé : l'écriture kierkegaardienne ne se soumet pas aux lois classiques (pour autant qu'on pourrait les énoncer) du discours philosophique.

Pour résoudre ce problème, Deschênes a choisi une solution qui peut paraître originale. Le projet a l'air simple : il s'agit, comme nous en avertit le titre, d'une recherche sur le concept de fondement ; cette recherche s'effectue en compagnie de Kierkegaard, ce qui signifie – et c'est déjà un moyen de déjouer le piège du commentaire scolaire – que l'on cherche moins à faire un exposé sur le concept de fondement dans la philosophie kierkegaardienne qu'à faire se croiser recherche sur le concept et philosophie kierkegaardienne. Cette recherche se fera alors « à la manière de Kierkegaard ». En quoi consiste le pastiche ? La manière en question est, comme on pouvait s'en douter, non pas celle de Kierkegaard (qui lui-même comptait beaucoup de manières !), mais celle de ses auteurs pseudonymes, et un peu celle des *Papirer*. On retrouvera alors dans la recherche et le commentaire de Deschênes la plupart des procédés poétiques, rhétoriques et stylistiques, employés jadis par un Johannes Climacus, un Frater Taciturnus ou surtout un Vigilius Haufniensis, l'auteur pseudonyme du *Concept d'angoisse*, puisque c'est à partir de ce dernier ouvrage que la recherche s'organise. On trouvera donc pêle-mêle pseudonymie, fausses introductions, digressions humoristiques ou anecdotiques, extraits de journal, manuscrits trouvés dans un tiroir et publiés par un mystérieux éditeur, fragments, ruptures de ton et changements de registre, calembours, envolées lyriques, intermèdes, exhortations, développement ou plutôt glissement conceptuel – en un mot tout l'appareil textuel et paratextuel extrêmement sophistiqué que l'art kierkegaardien déployait pour mieux égarer le lecteur et le défaire autant que possible de ses mauvaises habitudes de lecture philosophique.

On sait à quel point une telle manière, qui était rien moins que gratuite ou ornementale, irrita les contemporains de Kierkegaard. Deschênes courait le risque d'en faire autant, à cette nuance près – et qui est d'importance – que justement l'exercice avait déjà été fait et qu'il s'autorisait donc, malgré ses airs iconoclastes, d'un grand ancêtre. Le résultat formel est brillant et on comprendra la difficulté qu'il y a à le résumer ou à en donner la structure – et on ne sait d'ailleurs où s'arrête la

mystification, si Deschênes est bien le nom de l'auteur véritable, s'il s'agit bien là, comme il est dit, d'un mémoire de maîtrise. On peut être plus réservé sur la pertinence d'un tel mimétisme en matière de commentaire. Mais surtout, il est toujours dangereux de faire dégénérer un style philosophique en recettes formelles et de le dépouiller de sa vocation première : dans cette vanité, le pastiche est au style ce que la réitération est à la répétition chez Kierkegaard (dont on rappelle qu'elle est une reprise qui approfondit le sens). L'auteur cependant tient une raison extrêmement valable de cette « reprise » de style : le concept de fondement est justement un concept qu'on pourrait dire non-objectif et qui ne peut pas être appréhendé sous la forme d'un savoir de quelque chose. Rétif à une saisie conceptuelle classique, parce que le fondement n'est « rien » (pas d'étant), parce qu'il s'est toujours déjà précédé lui-même, surtout parce qu'il est ce rien sur quoi s'établit toute compréhension, ce « concept » (faut-il encore conserver ce terme ?) offre tous les traits caractéristiques qui autorisent, et peut-être exigent, les formes de la communication indirecte : il n'est pas un objet dont un discours direct pourrait dévoiler pleinement l'essence. Mais pour approcher ce concept, Deschênes n'a pas simplement multiplié les formes littéraires à la manière de Kierkegaard, il a aussi emprunté un itinéraire tout à fait pertinent pour mener à l'examen du *Concept d'angoisse* : le concept de fondement se découvre dans la question du commencement et nulle part mieux que dans le commencement d'un livre cette question ne se pose plus vivement. C'est donc dans les « seuils » du livre (en l'occurrence du *Concept d'angoisse*) qu'on va commencer d'apercevoir la position paradoxale du fondement et peut-être est-ce là qu'on le saisira le mieux : titre, sous titre, nom de l'auteur, préface, « ambiance » préliminaire, tous ces « lieux » avant le lieu principal manifestent quelque chose du fondement. Ainsi vers cette absolue contingence du fait d'être là, d'avoir commencé par un envoi que *rien* ne justifie ultimement, qui ne peut donc jamais ressembler à un point archimédique, mais aussi vers cette reprise de l'envoi qui au contraire le fonde, c'est la tâche notamment du livre de *Préfaces*, publié sous le pseudonyme de Nicolas Notabene, de nous mener. Aussi Deschênes l'utilise-t-il brillamment pour nous amener au concept de fondement. C'est alors dans une perspective herméneutique qui ne dit pas toujours son nom, mais aussi d'abord par le biais du Heidegger d'*Être et temps*, que le concept sera analysé : cercle de la précompréhension dans lequel la compréhension se précède toujours elle-même, s'anticipe puis se reprend, le fondement n'apparaît qu'en tant qu'il se dérobe originellement et notre manière même de nous approcher du concept, « fondée » sur une obscure précompréhension, en témoigne.

On connaît le risque que comporte le fait de discourir sur ce type de concept : celui d'une mise en abyme perpétuelle. Commencer par parler du commencement, poser thétiqement ce qui se retire ou se tient en retrait, émettre des suppositions sur la présupposition, avoir une précompréhension de la précompréhension, etc. Kierkegaard, plus que tout autre sans doute, était au fait de cette « double réflexion » qui fait, entre autres, que le discours est un mime de ce qu'il dit. Mais par là, on expérimente peut-être le mouvement même qui dévoile le fondement : retour à soi, mouvement réflexif, reprise de soi, qui est celui de l'homme dans l'existence. Le problème du fondement se manifeste finalement comme cette

structure fondamentale de la subjectivité. C'est « l'assignation à soi-même » dont parle la dernière des *Préfaces*, originellement destinée à servir de préface au *Concept d'angoisse*, qui permet d'établir le fondement comme fondement de soi-même et qui suppose alors différence de soi à soi, écart originel qui introduit une faille dans l'identité. L'altérité est au fondement. Franchir cet écart de soi à soi, répondre donc à l'appel que nous lance cette assignation relève d'une décision que rien ne précède, d'un saut qui interrompt la continuité des raisons et, en ce cas, elle est acte et liberté : « Le fondement acquis par l'assignation à soi-même constituerait aussi le fondement de l'action » (p. 87). Cette fondation de soi est la *tâche* de l'existence... Voudra-t-on aller plus loin dans l'analyse conceptuelle ? Ce sera alors au lecteur de le faire car le texte de nouveau bifurque. Pauvre contenu objectif de l'ouvrage ? Mais là n'était évidemment pas l'essentiel : conformément à la loi de communication indirecte, le concept n'aura pas été dénoté mais connoté.

Le texte de Deschênes, et c'est évidemment sa caractéristique la plus « kierkegaardienne », n'aura pas été un exposé sur le concept de fondement, ni même, simplement une méditation autour du concept de fondement, mais *l'expérience* de ce concept. Le jeu du texte aura été cette expérience. Or, comme on l'aura compris, cette expérience est celle du sujet qui se réfléchit : c'est donc lui-même, Jean-Guy Deschênes, que le texte aura mis en scène. L'approche du concept de fondement ne pouvait se faire que par une fiction qui mît en scène le propre travail de compréhension de l'auteur. La réflexion philosophique s'est donc faite fiction (auto) biographique.

Vincent DELECROIX

Edna H. HONG et Howard V. HONG, éd., *The Essential Kierkegaard*. Princeton, NJ, Princeton University Press, 2000. 15,5 × 23,5, XII-524 p., bibliogr., index.

Edna H. Hong et Howard V. Hong sont les promoteurs de la monumentale édition des œuvres complètes de Kierkegaard en langue anglaise qui vient de s'achever (*Kierkegaard's writings*, t. I-XXVI, Princeton, Princeton University Press, 1978-2000). De ce travail gigantesque qui fait référence non seulement dans le monde anglo-saxon mais dans l'ensemble des études kierkegaardiennes (avec l'édition Paul-Henri Tisseau en France et la nouvelle édition danoise des *Søren Kierkegaards Skrifter* sous la direction de Niels-Jørgen Cappelørn, entamée en 1997 et en cours d'établissement), les éditeurs ont voulu extraire une anthologie couvrant la totalité de la production kierkegaardienne et offrant un aperçu significatif – mais pas seulement un aperçu – de cette œuvre à la fois immense et protéiforme. Mais c'était bien là la difficulté : on sait que la capacité qu'il avait de se métamorphoser était précisément ce qui permettait à Protée de se rendre insaisissable. L'anthologie, aux dires de ses éditeurs, a pour but de rendre justement l'œuvre de Kierkegaard saisissable, et certainement pas d'y substituer un *digest* commode destiné à une lecture superficielle. C'était bien alors vouloir rendre saisissable Protée, car peu

d'œuvres philosophiques ont autant joué de leur forme et ont, à ce point, cherché à égarer le lecteur. Alternant ou même parfois conjuguant ouvrages pseudonymes et ouvrages signés, communication « directe » et communication « indirecte », pour reprendre la dénomination employée par Kierkegaard lui-même, usant jusqu'au vertige de toutes les ressources offertes par l'art de l'écriture et par les genres aussi bien littéraires que philosophiques ou religieux (romans, correspondance, critiques, pastiches, traités, discours, sermons, etc.), cette œuvre, qui par là cherchait à s'émanciper radicalement de la forme close d'un système philosophique, a de quoi dérouter le lecteur le plus averti en matière de jeux littéraires.

Mais le jeu était rien moins que gratuit : il exprimait non seulement l'impossibilité d'en rester aux formes classiques du discours philosophique lorsqu'il s'agissait d'exposer les catégories de l'existence, mais aussi la volonté de susciter une lecture ou un lecteur différents – c'est-à-dire la volonté de produire un effet réel sur le lecteur (ce que l'on nommera, faute de mieux, l'édification) qui le poussât à agir, à décider, bref à se confronter à la tâche de l'existence, celle de devenir un véritable sujet. Cet exercice exigeait alors à la fois patience et passion dans la lecture, attention, sympathie, égarement peut-être parfois – tout état, enfin, qui puisse mettre le lecteur en face de lui-même. C'est un art que de devenir un tel lecteur, dit l'un des pseudonymes. Aussi l'idée d'une anthologie peut-elle paraître au premier abord une certaine hérésie, dans la volonté qui la sous-tendrait d'abrégier la lecture, de lui faire gagner du temps et, peut-être, de lui offrir une matière objective aisément ingérable ou des « thèmes » à survoler. Que devient alors cet « art de la lecture » nécessaire à la lecture du texte kierkegaardien ? Et l'on sait avec quelle violence, avec quelle féroce ironie Kierkegaard a stigmatisé ces abrégés, cette lecture rapide et vaine.

Ainsi l'ouvrage avait-il à surmonter deux difficultés : celle de donner à voir la totalité (et sa loi d'organisation) et celle de conjurer la funeste habitude de la lecture tronquée attachée à ce genre éditorial. Elles ont été surmontées par la rigueur sans faille des éditeurs : à la première il a été répondu par l'ampleur même et le détail de cette anthologie, à la seconde par le choix des extraits et l'apparat critique.

Pour ce qui est du champ couvert par cette anthologie, tout d'abord, on s'apercevra qu'il balaie la quasi-totalité de l'œuvre, mis à part, évidemment, la somme énorme et fragmentaire des *Papirer* (trois longs fragments ouvrent cependant l'ouvrage) et quelques omissions surprenantes : on ne trouve pas trace, par exemple, de l'ouvrage critique *La Crise*, ni surtout des leçons sur la *Dialectique de la communication éthique et éthico-religieuse* qui sont pourtant d'une importance extrême pour la compréhension de l'art kierkegaardien ; certes celles-ci sont restées inachevées et n'ont jamais été publiées, mais il en est de même du *Livre sur Adler* qui pourtant figure dans l'anthologie.

L'organisation de ces éléments se veut délibérément chronologique. On partira donc, après l'entrée en matière que constituent les quelques fragments des *Papirer*, des *Papiers d'un homme encore en vie*, pour parvenir, au terme de l'ouvrage, à la dernière œuvre publiée, *L'Immutabilité de Dieu*. On aura eu l'occasion de voir que l'œuvre de Kierkegaard ne se limitait pas à quelques ouvrages pseudonymes célèbres mais qu'elle constituait une somme immense. Dans ce long trajet qui

couvre les vingt années de la production, on se sera fait une idée approchante à la fois de l'incroyable variété de formes et de l'unité extrêmement forte qui sous-tend cette œuvre. Car là se trouve aussi le projet qui oriente l'anthologie de E. et H. V. Hong : non pas seulement collecter des pièces éparses mais manifester l'itinéraire spirituel du penseur danois. C'est la raison pour laquelle ils ont sans doute choisi d'ouvrir leur anthologie sur ces extraits des *Papirer* qui trahissent les interrogations de Kierkegaard sur sa vocation à venir (quelle route prendre ? à quoi se consacrer ?) et qui, surtout, manifestent cette tension extrême qui va animer toute la production littéraire : « Le point crucial est de trouver une vérité qui soit vérité *pour moi*, de trouver l'idée pour laquelle je veux vivre et mourir. » De cette aspiration qui évoque déjà des catégories fondamentales (celle, par exemple, de « vérité pour moi » par opposition à ce que le Post-scriptum appellera une « vérité indifférente ») aux considérations rétrospectives sur la totalité de l'œuvre du *Point de vue explicatif sur mon œuvre d'écrivain*, c'est tout le « plan » général de l'œuvre, la stratégie complexe mais aussi l'unité thématique présente d'un bout à l'autre, qui apparaît. L'ordre n'est donc pas seulement chronologique, ou plutôt l'ordre chronologique témoigne d'un ordre véritable qui fait jouer les pièces les unes avec les autres. Mais il n'est pas non plus seulement celui qui régit l'évolution d'une pensée, il est aussi celui qui articule, bien que de manière non systématique, à la fois les éléments de la conceptualité kierkegaardienne et le projet total ; il témoigne moins des hasards de publications circonstanciées que d'une écriture concertée, tendue vers un objectif unique, constant, évoluant, dans ses stratégies comme dans ses thématiques, vers une expression de plus en plus directe de cet objectif. Cet itinéraire fait de l'anthologie bien plus qu'une somme d'éléments discrets et discontinus et peut-être celle-ci offre-t-elle, dans une première approche, la seule vision cohérente de ce qui n'est justement pas un « système », mais qui s'agence pourtant rigoureusement dans une structure organique. Ainsi parvient-il à fournir les instruments adéquats pour une lecture véritable.

Chaque œuvre est représentée par un extrait ou une somme d'extraits importants en taille et significatifs. Mais que veut dire « significatifs » ? Ceux-ci n'ont pas nécessairement pour but d'offrir une vue générale de ces ouvrages, d'en donner « l'idée principale », mais sans doute davantage de faire ressortir la spécificité de chacun, à la fois dans son ou ses objets et, surtout, dans son « atmosphère ». Le choix souscrit bien à une certaine tradition de l'*ekphrasis* que Kierkegaard pratiquait d'ailleurs assez nettement et qui offre généralement sa substance à une anthologie, mais il ne s'y confine certainement pas : le but ne consiste pas à livrer ce que l'on appelle justement des « morceaux d'anthologie », que ce soit d'un point de vue stylistique ou conceptuel, ce qui n'aurait pas grand intérêt pour la lecture philosophique, mais de suivre des développements conceptuels à la fois autonomes et constamment rapportés les uns aux autres. Il n'est pas sûr que tous les ouvrages puissent se prêter avec un égal bonheur à ce découpage qui relève d'un choix que rien ne saurait en définitive justifier totalement : Kierkegaard n'est pas Montaigne et ne procédait pas par « sauts et gambades ». Il est évident que le lecteur peut perdre d'ailleurs quelque chose du style même de Kierkegaard : la composition par exemple, sous forme de méditation cadencée, des *Discours édifiants* ou des

Discours chrétiens, leur structure lyrique très rythmée et très organique n'apparaît plus très clairement. Néanmoins, les éditeurs ont eu soin, dans la mesure du possible, de se soumettre aux lois de composition des œuvres et non pas seulement au problème de leur « contenu » ; ils n'ont pas négligé, par exemple, l'importance de l'appareil paratextuel, préface, dédicace, avant-propos, etc., si déterminant pour la lecture de Kierkegaard. On peut regretter toutefois que les coupures dans le texte, qui séparent les extraits les uns des autres pour une même œuvre, ne soient pas marquées plus visiblement, ce qui peut induire certaines confusions. Mais on retrouve dans ces extraits le soin apporté à la traduction qui caractérisait les *Kierkegaard's writings*, un soin qui repose sur de véritables choix – celui par exemple du verbe « *to build up* » pour le danois « *at opbygge* », « édifier » en français.

Chaque ouvrage est précédé d'une notice substantielle qui ne consiste pas seulement à introduire conceptuellement ce qu'on va lire, mais qui cherche aussi systématiquement à replacer l'ouvrage en question dans l'ensemble de l'œuvre, en précisant en particulier le moment de sa publication : la précision est d'importance notamment par rapport à ce que les éditeurs appellent la première période, celle pendant laquelle Kierkegaard publie *simultanément*, soit le même jour, soit à quelques jours d'intervalle, grands ouvrages pseudonymes et *Discours édifiants* signés. Là encore, le « plan » ou la stratégie littéraire sont essentiels à la compréhension. On sent bien par ailleurs combien, dans ces présentations, les éditeurs ont tenu à marquer l'intérêt actuel du « combat » kierkegaardien, sur lequel leur courte introduction avait déjà insisté. Cet attachement, cependant, n'est peut-être pas le choix le plus heureux. Il n'était en réalité pas nécessaire, le texte se défendant ici lui-même avec une vigueur particulièrement saisissante. Mais il obéit aussi à ce projet louable qui anime toute l'entreprise : que l'anthologie ne se substitue pas à l'œuvre mais qu'elle soit au contraire l'occasion pour le lecteur de venir à la lecture véritable et complète de Kierkegaard, qu'elle serve d'introduction et de guide avant de laisser le lecteur seul et autonome dans sa recherche. En quoi elle obéit strictement au projet kierkegaardien.

Vincent DELECROIX

Nathalie FROGNEUX, *Hans Jonas ou la vie dans le monde*. Préf. de Jean GREISCH. Bruxelles, De Boeck Université, 2000. 16 × 24, XVIII-392 p., bibliogr., index (Le Point philosophique).

Hans JONAS, *Le Phénomène de la vie. Vers une biologie philosophique*. Trad. de l'anglais par Danielle LORIES. Paris-Bruxelles, De Boeck Université, 2001. 16 × 24, 290 p., index (Sciences, éthiques, sociétés).

Avec cette étude sur l'ensemble de l'œuvre de Hans Jonas, Nathalie Frogneux comble une lacune importante de l'édition française, qui s'était d'autant plus accentuée qu'il s'était écoulé de nombreuses années entre les parutions originales

et les traductions (*La Religion gnostique* de 1958 ne fut traduit par Louis Évrard qu'en 1977). En outre, celles-ci ne respectant pas l'ordre chronologique, le public français ne pouvait suivre l'itinéraire philosophique de Jonas dans sa continuité et se heurtait à l'apparente incohérence des positions de l'historien du gnosticisme et du philosophe de l'éthique du futur (*Le Principe responsabilité* fut traduit par Jean Greish en 1990) sans disposer de la médiation de la période dite de la « biologie philosophique » (voir la seconde partie de cette recension sur *Le Phénomène de la vie*). Cette éclipse n'explique toutefois pas entièrement les difficultés de réception d'une œuvre éclatée s'étendant sur plus de cinquante ans, et ne caractérise pas la seule réception française : l'un des principaux introducteurs de la pensée jonasienne en France, Paul Ricœur, rapporte qu'un étudiant américain lui demanda si le Jonas de la gnose était parent avec le Jonas de la responsabilité. L'intérêt premier de cette ambitieuse étude est donc de permettre la saisie d'une cohérence dynamique en suivant le détail des évolutions conceptuelles au sein de l'œuvre, faisant ainsi gagner en précision à l'analyse ce qu'elle perd en profondeur d'horizon.

Les deux premiers chapitres, « Le principe gnostique » et « *Homo absconditus* », montrent comment, parti du constat que l'existentialisme constituait le *Zeitgeist* de son époque, Jonas entreprit d'expliquer la Gnose en tant qu'expression d'une situation existentielle, caractérisée par son acosmisme, avant de s'apercevoir que la circularité conceptuelle lui permettant d'éclairer la Gnose par l'existentialisme dévoilait en retour le nihilisme de son maître, Martin Heidegger. L'exposé de ce premier temps fort de cette « philosophie en mouvement », suivant la judicieuse expression de Frogneux, permet de comprendre la particularité de la démarche réflexive jonasienne qui instaure un dialogue vivant entre l'histoire de la philosophie et l'objectivation de sa propre historicité philosophique : la restitution d'une pensée antique devient ainsi le moyen du dépassement d'une position dont l'actualité masque en fait la virtualité transhistorique. Certaines allusions de Frogneux laissent alors entrevoir les résonances de ce diagnostic avec l'accueil critique que réservèrent à Heidegger quelques familiers de la pensée antique, comme Pierre Aubenque et Émile Bréhier, quand d'autres s'enthousiasmaient pour sa soi-disant nouveauté radicale. Les deux chapitres suivants, « L'occident dualiste » et « La polarisation de l'inerte et du vivant », analysent comment, après avoir dénoncé le nihilisme inhérent à l'acosmisme du *Dasein* et la dévaluation implicite de la Nature qu'impose la différence ontologique, Jonas reconduisit son questionnement vers la matérialité des fondements de l'existence en plaçant sa recherche sous le signe d'un dépassement des alternatives philosophiques (sujet/objet, esprit/matière, et opposition des monismes réducteurs et des dualismes désarticulés) à travers une phénoménologie du vivant. On peut alors s'étonner que Frogneux fasse endosser à Jonas la stigmatisation du matérialisme comme « principale menace de notre temps » (p. 5), alors que le matérialisme et l'idéalisme modernes constituaient à ses yeux les monismes partiels que la philosophie a pour tâche de réconcilier sans pouvoir défaire leur polarité. Les trois derniers chapitres, « L'homme déhiscent », « Le principe liberté » et « Le dépassement éthique du dualisme », retracent avec minutie la troisième inflexion de la pensée de Jonas, qui survient avec la réorientation de sa philosophie de la nature en devenir (distincte

d'un optimisme à la Teilhard de Chardin) vers la fondation d'une éthique adaptée aux évolutions de la civilisation technologique et son prolongement par la redécouverte de valeurs spirituelles dépassant les limites de l'individualisme.

Négligeant le fil conducteur qu'aurait pu constituer entre ces trois périodes le thème de l'angoisse et de la finitude, et ne confrontant pas la trajectoire de Jonas à des parcours contemporains (Alfred N. Whitehead et Jean-Paul Sartre ne sont évoqués qu'incidemment), l'exégèse se concentre finalement sur la question du statut de la divinité. La lecture de Frogneux se caractérise en effet par le refus de réduire la position de Jonas à l'agnosticisme prôné par la conférence sur *Le Concept de Dieu après Auschwitz* (Paris, Rivages poche, 1994). Pourtant, dans son autobiographie intellectuelle (« Philosophie. Regard en avant et regard en arrière à la fin du siècle », in *Pour une éthique du futur*, Paris, Rivages, 1998), Jonas réaffirmait avec force la nécessité axiologique pour l'humanité de souscrire à celui-ci : « Aucun dieu salvateur ne le déchargera de l'obligation que lui impose sa place dans l'ordre des choses. » Parvenant aux derniers travaux du philosophe sur la métaphysique, le lecteur aura donc vu le sens du sous-titre de l'étude de Frogneux, « la vie dans le monde », glisser peu à peu de la référence à l'être-au-monde vers l'évocation d'une sécularisation des concepts de la théologie.

Quelles qu'en soient les insuffisances, on mesure cependant la difficulté de la synthèse opérée par Frogneux en constatant que l'ouvrage principal de la période « biologique », *Le Phénomène de la vie*, présente, à sa propre échelle, la même disparité et la même cohérence évolutive que l'œuvre dans son ensemble. Il ne s'agit pas en effet d'une étude ou d'une construction suivie mais d'un recueil d'articles encadrés par une introduction et une conclusion visant à leur conférer la portée d'un dépassement de l'objectivisme immanent aux sciences de la nature et du subjectivisme transcendant propre à la phénoménologie de la conscience. Contre la conception d'un développement aléatoire (« aveugle ») de la matière et d'une nature contingente, Jonas entend réactualiser le projet aristotélicien d'une stratification de la nature conduisant à l'émergence de la liberté à partir de tendances enfouies dans les profondeurs matérielles de l'être, sans verser pour autant dans un finalisme spiritualiste. Pour cela, la notion de métabolisme est d'emblée investie par les notions de finitude, de polarité et de crise, dont l'amplification à travers l'échelle des êtres mène à la condition existentielle. On retrouve ainsi l'angoisse croissante du vivant comme fil conducteur, angoisse dont le traitement mériterait une comparaison avec Kierkegaard, Heidegger, Sartre ou Simondon, même si l'interlocuteur contemporain privilégié demeure Whitehead (auquel une note critique est consacrée pour récuser le *feed-back* du biologisme dans l'ontologie physique).

L'ouvrage accomplit donc une impressionnante transformation de perspective à travers ses onze essais, qu'accompagnent une dizaine de notes complémentaires. Les trois premiers, « La vie, la mort et le corps dans la théorie de l'être », « Aspects philosophiques du darwinisme » et « Dieu est-il mathématicien ? La signification du métabolisme », affirment la nécessité pour une ontologie contemporaine conséquente de privilégier l'héritage conceptuel de la tradition matérialiste tout en soulignant ses insuffisances à rendre compte des structures de l'intentionnalité.

Les quatre suivants, « Se mouvoir et ressentir. Sur l'âme animale », « Cybernétique et fin. Une critique », « La noblesse de la vue. Étude de phénoménologie des sens » et « La production d'image et la liberté humaine », présentent, souvent de manière indirecte, l'ébauche de ce que serait une phénoménologie de l'organisme. Les quatre derniers, « Les usages pratiques de la théorie », « Gnose, existentialisme et nihilisme », « Heidegger et la théologie » et « L'immortalité et la mentalité moderne », opèrent enfin le passage à la philosophie de l'homme en mettant davantage l'accent sur les valeurs que sur les concepts biologiques. Entre la composition de l'ouvrage, ensemble de « tentatives et d'expérimentations », et l'ambitieuse perspective d'une biologie philosophique s'instaure donc une tension soulignant davantage la prise de risque d'une trajectoire de pensée plutôt que la relation harmonieuse d'éléments à une synthèse achevée. Aussi le dynamisme de cette pensée est-il ce qu'elle a de plus remarquable : chaque article vise à engager un dépassement des réductionnismes et des alternatives unilatérales par une mise en mouvement philosophique, d'autant plus conséquente que l'histoire de la philosophie est elle-même éclairée réflexivement en tant que succession de phases monistes et dualistes.

Même s'il est possible d'esquisser la logique de l'évolution thématique entre le début et la fin de l'ouvrage, il convient avant tout de remarquer l'hétérogénéité des essais et des notes annexes qui le composent. Certains présentent un aspect dissertatif, visant surtout à établir des distinctions conceptuelles ; c'est le cas notamment du premier appendice, « Perception et causalité », qui reprend la discussion entre Hume et Kant pour relativiser le rôle de la perception comme fondement empirique de la notion de causalité, celle-ci ne s'enracinant pas dans celle-là mais dans « notre corps s'exerçant lui-même dans l'action » (p. 44), et du onzième essai ainsi que de plusieurs autres notes (sur l'usage des mathématiques par les Anciens, sur la vue et le mouvement, sur l'ADN). D'autres essais se projettent dans l'horizon méta-philosophique du dépassement de multiples oppositions doctrinales : l'introduction, la note sur l'anthropomorphisme, l'essai sur « Les aspects philosophiques du darwinisme », qui s'attache à montrer comment à partir de ses bases strictement matérialistes la théorie évolutionniste produit la nécessité d'une « conception de l'être comme devenir » (p. 68), la note sur le dualisme cartésien et celle sur le matérialisme, le déterminisme et l'esprit, enfin la conclusion, assurent ainsi la perspective d'ensemble de l'ouvrage. Entre ces deux postures extrêmes d'engagement et de distanciation vis-à-vis de la tradition philosophique, le reste des essais adoptent une attitude intermédiaire face aux problèmes et aux doctrines qu'ils revisitent : il s'agit, à travers un parcours critique au sein de l'histoire de la philosophie et de ses rapports à la science, d'intégrer les acquis scientifiques à la doctrine philosophique tout en instillant à la science elle-même l'exigence de la réflexivité. Ainsi le troisième, le cinquième et le huitième essai (« Dieu est-il mathématicien ? », « Cybernétique et fin. Une critique », et « Les usages pratiques de la science », qui fonde les prétentions de la philosophie en tant que discipline transscientifique) dénoncent-ils les insuffisances de l'idéologie scientiste et proclament-ils la nécessité d'une véritable philosophie de la Nature. L'intérêt des neuvième et dixième essais (« Gnose, existentialisme et nihilisme » et « Heidegger et la théologie »)

tient autant à la critique de Heidegger qu'à la réflexivité méthodologique qui s'y fait jour, preuve que les questions les plus « personnelles » et les plus brûlantes sont aussi parfois pour le philosophe l'occasion du dégagement le plus universel.

Le lecteur s'étonnera toutefois peut-être de ne voir dans cette nébuleuse que trois essais directement centrés sur les problèmes d'une biologie philosophique, et plus encore de constater que sur ces trois essais, deux adoptent une méthode phénoménologique *a priori* étrangère aux domaines concernés (essai VI : « Le privilège de la vue », essai VII : « La production d'image »), tandis qu'un seul se détache du paradigme de la perception pour construire la philosophie biologique elle-même (essai IV : « Se mouvoir et ressentir »). La qualité du quatrième essai justifie cependant à elle seule l'orientation générale de l'ouvrage : le décentrement, que l'émotion opère par rapport à l'intellectualisme de la phénoménologie et aux problématiques classiques de l'individuation dans la tradition philosophique, permet à Jonas de réactualiser la hiérarchie ontologique du *De anima* d'Aristote d'une manière originale et convaincante. La transition ontologique depuis les organismes primaires vers la complexité de l'existence humaine trouve dans l'émotion une médiation problématique qui rend compte du fait que vivre est pour le vivant un problème dont il fait lui-même partie. On perçoit l'étonnante proximité de cette analyse avec la recherche d'un matérialisme phénoménologique par Merleau-Ponty ou la philosophie post-phénoménologique de l'individuation de Simondon. Il est donc heureux que ce moment de la pensée jonassienne, singulier et inabouti (sans doute par défaut d'informations suffisantes sur les progrès de l'éthologie), soit porté à la connaissance du public francophone, surtout dans la mesure où les œuvres déjà publiées et leur promotion accrédiétaient davantage l'image d'un Jonas herméneute et méditatif que celle d'un penseur rationaliste à la recherche d'une philosophie de la nature adaptée aux exigences contemporaines.

Vincent BONTEMS

Karl-Otto APEL, *La Controverse expliquer-comprendre. Une approche pragmatico-transcendantale*. Trad. de l'allemand par Sylvie MESURE. Paris, Cerf, 2000. 14,5 × 23,5, 381 p., bibliogr., index (Passages).

Expliquer et comprendre de Karl-Otto Appel est une véritable somme dont la traduction se révélait indispensable quand on considère l'actualité philosophique des thèses défendues et le singulier éclairage apportée sur l'antagonisme devenu paradigmatique entre tradition « herméneutique » et tradition « analytique ». De ce clivage essentiel découle un ensemble de divisions plus ou moins radicales. Celle qui oppose « sciences de l'esprit » et « sciences de la nature » entraîne dans son sillage un désaccord méthodologique entre partisans d'une saisie interne du sens (sur le mode de la précompréhension herméneutique) et adeptes d'une saisie externe, réputée objective. Voilà posés les jalons essentiels de la construction du livre d'Appel. La controverse « expliquer-comprendre » est donc à saisir dans le

contexte de lutte permanente qui déchire les partisans de chaque école et si Apel la décrit comme « centrale » pour les sciences humaines, c'est d'abord parce que ces dernières n'en finissent pas de mériter le statut de science que répugnent à leur conférer les partisans de l'union des méthodes d'investigation. Les sciences de la nature doivent-elles prendre exemple sur les disciplines interprétatives ? Ou, inversement, les sciences de l'esprit doivent-elles s'inspirer de la rationalité des sciences naturelles ? C'est à l'histoire de cette double question (on peut cependant décliner bon nombre de ramifications) qu'est consacrée la « reconstruction critique » dont Apel s'est fait une spécialité. La reconstruction du livre de Georg Henrik von Wright, *Explaining and understanding*, est le moment fort de ce premier versant de la démarche « pragmatico-transcendantale ». Il représente aux yeux d'Apel la pointe de ce que l'on a pu appeler le « Nouveau Dualisme » (et Apel se fera fort de montrer qu'en fait de nouveauté, le dualisme des jeux de langage n'est pas sans rappeler de plus vieux clivages entre « en-soi » et « phénomène » ou même plus largement entre sphère « théorique » et sphère « pratique »). Il faut préciser d'emblée qu'Apel ne cache pas sa dette envers von Wright : il lui emprunte une théorie de la causalité et lui emboîte le pas en ce qui concerne la réhabilitation du syllogisme pratique aristotélicien. L'ambition de notre auteur est néanmoins originale et d'envergure : rien moins que de découvrir, à travers la méthode pragmatico-transcendantale dont le livre est à la fois la mise en œuvre et l'élucidation, un « nouveau concept de philosophie première » (p. 320 ; sur ce point et l'ambition de dépassement de la métaphysique qu'il implique, voir Karl-Otto Apel, « Philosophie première et paradigme postmétaphysique », in *Un siècle de philosophie*, Paris, Gallimard-Centre Pompidou, 2000). Ce programme exige un processus de pacification qui ne saurait se confondre avec la recherche d'un consensus frileux autour d'une fusion possible de deux types d'épistémologie. Il s'agit, bien au contraire, de montrer que l'état actuel de concurrence épistémologique masque en fait une « situation » de « complémentarité ». Il ne s'agit donc pas de faire la paix, ni d'arraisonner au sens que sut décrire Heidegger, ni de céder à la tentation d'un pur monisme méthodologique. Au contraire, chaque phase de la reconstruction critique (Apel distingue trois « rounds ») refuse de produire sa solution idoine : elle n'est qu'un mouvement où s'essaye et s'amplifie la solution complète qui est toujours désignée par cette complémentarité. Ce processus de raffinement par confrontation, Apel le nomme « continuum de compréhension » (p. 67). Cette figure pourrait nous paraître suspecte si elle ne se déployait dans un cadre de pensée prônant le retour à une philosophie de type transcendantal. Apel insiste sur ce point : il faut redonner à la problématique de l'*a priori* de la connaissance et donc à celle du sujet connaissant lui-même une vigueur nouvelle après une longue pénitence. Le recours, ici parfaitement motivé, à la philosophie de Kant permet à la fois d'indiquer la voie à suivre (celle de l'*a priori*) et les apories à dépasser : la distinction du phénomène et de l'en-soi, le fossé entre théorique et pratique.

Les multiples facettes de la « compréhension » en font un outil notoirement dangereux : elle peut conduire, comme le concède Apel, « de la science de l'esprit à la profession de foi littéraire » (p. 68). En ce sens, le vœu d'exclusion prononcé contre elle par les sciences de la nature est légitime : comment ces dernières

pourraient-elles se maintenir fermement sur leur socle postcartésien sans rejeter loin d'elles toute apparence de téléologie ? Apel remarque néanmoins que le principe général de précaution ainsi évoqué entraîne le plus souvent un dogmatisme sans limite. De la nécessaire abstraction de certaines considérations matérielles, on infère le caractère absolu de la coupure entre sujet et objet. La controverse est, selon Apel, grevée par ces paralogismes. Mais il ne se contente pas de ce travail du négatif : restaurer la compréhension, c'est également lui assigner des conditions de validité. Pour ce faire, Apel se base, d'une part, sur le renversement spectaculaire du traitement humien de la causalité proposé par von Wright : ce qui donne sens à la notion de causalité « humaine » n'est pas la notion de causalité naturelle. L'observation des régularités empiriques n'est tout simplement pas pertinente pour comprendre l'agir humain. Au contraire, c'est le « pouvoir-faire » humain, en tant qu'il détermine une intervention dans le cours naturel des événements, qui rend compréhensible la nécessité naturelle. Apel offre, d'autre part, à cette analyse, sans cela restée bien abstraite, un sujet engagé dans la vie, un « corps vivant ». C'est cette fois à Merleau-Ponty qu'Apel emprunte. Cette jonction effective entre deux traditions hétérogènes permet de renverser le rapport entre explication causale (de type nomologico-déductif) et compréhension herméneutique et d'ouvrir la voie à une solution. En effet, selon Apel, la relation sujet-objet n'est pleinement pensable que dans l'horizon ouvert par la *communication*. Nous sommes dans le langage. C'est cette universalité de fait qui nous fait acteurs d'une seule communauté, ou, pour employer le terme d'Apel, « cosujets ». L'hybridation entre tradition herméneutique et reconstruction analytique tentée par Apel permet de comprendre le recours aux « intentions » de l'individu. C'est là que le « syllogisme pratique » (re)développé par von Wright trouve sa place. La force du raisonnement pratique, tel qu'il retrouve ici un rôle central, réside en effet dans sa dimension normative (« si je veux ceci, alors... »). Une manière d'exprimer pourrait être naturellement découverte dans la pensée du second Wittgenstein. En effet, les « raisons » de l'agent ont vocation à être « causes » de son comportement. C'est du moins selon ce jeu de langage familier que nous opérons le plus souvent. Mais Apel ne veut pas de cette tactique wittgensteinienne. Car, selon lui, elle reproduit très exactement, mais dans la sphère du langage, la dichotomie entre ce qui se passe et la manière dont on le comprend, entre la réalité dans son essence et nos faibles moyens pour en saisir la pointe visible. Si le sujet est vivant, s'il est libre de cette liberté qui donne sens au déterminisme, alors, il est aussi faux de poser un arrière-monde qu'un arrière-discours. Notre liberté et nos intentions sont efficaces dans *ce monde*. Apel refuse tout simplement de continuer à voir dans la liberté un problème pratique indépassable pour la spéculation.

Restait à donner une solution plus positive à la controverse qui s'appuie sur les éléments ayant subi avec succès l'épreuve de la reconstruction critique. La dernière partie du livre fait donc un bilan des matériaux conceptuels recyclables glanés au gré des doctrines rencontrées et des spécificités de la pragmatique transcendantale. Ainsi, en refermant la boucle herméneutique, c'est son propre travail qu'Apel reconstruit. Ce faisant, il propose une typologie de ce qu'il nomme « intérêts de connaissance ». C'est dire que la controverse expliquer-comprendre

ne se joue pas au seul niveau de la reconstruction critique : elle peut être menée à plusieurs niveaux et l'est effectivement si l'on considère avec Apel la psychanalyse comme son application à l'histoire des individus et ce que l'auteur nomme « la critique des idéologies » comme son application à la critique de l'histoire des sociétés (p. 284). La situation de complémentarité qu'elle fait apercevoir entre les types d'explications joue à tous les niveaux et doit déboucher sur une « combinaison de méthodes ». Et cette exigence n'est formulable que du point de vue d'une connaissance qu'Apel nomme « émancipatoire » et qui n'est autre que celui adopté par toute personne réfléchissant aux conditions de sa pratique. Cette thématique de l'intérêt de connaissance est ce qui donne continuité aux travaux d'Habermas et d'Apel, et il faut bien reconnaître que ce troisième intérêt se confond avec l'« autoréflexion » décrite à plusieurs reprises par Habermas. Car si la communauté de départ est celle du langage, on aura compris que la communauté visée est celle où les individus ont accès à la dignité, autre nom de l'autoréflexion bien conduite. Une digne communauté est une communauté qui se réapproprie sa propre histoire, sa geste intime, comme l'individu a besoin de s'approprier ses raisons d'agir pour avoir des raisons d'espérer. Cette communauté est pragmatique au sens de Peirce : elle se fonde sur une sémiotique transcendantale ; la raison elle-même est engagée à l'infini dans la dynamique de l'interprétation. Elle est elle-même vivante. L'homme, nous dit Apel, est alors à même d'être saisi dans sa complémentarité structurelle : liberté, quasi-nature, et conscience critique. Dépasser la métaphysique, pour Apel, ce n'est rien moins que réconcilier l'homme avec lui-même.

Nicolas COMINOTTI

COGNITION

Jean-Pierre CLÉRO, *Théorie de la perception. De l'espace à l'émotion*. Paris, Presses universitaires de France, 2000. 15 × 21,5, 320 p., bibliogr., index (L'Interrogation philosophique).

L'ouvrage de Jean-Pierre Cléro annonce, dès son titre, une formulation neuve des questions qui se posent à la philosophie quand elle entend traiter de la perception. Il ne s'agit pas ici de présenter successivement les différentes théories de la perception avec leurs apports et leurs limites, comme un manuel le ferait. L'ouvrage entend bien proposer une théorie de la perception qui ne se contente pas d'un amalgame de théories précédentes et hétéroclites. Pas à pas, il mène l'examen

des propositions philosophiques des plus courantes aux plus rares pour mieux situer une sorte de carte générale des antinomies auxquelles elles renvoient. L'audace consiste, plus précisément, à faire de la *Théorie des fictions* telle qu'elle a été formulée par Jeremy Bentham, le père de l'utilitarisme anglais, une arme pour réévaluer, au besoin dépasser les arguments des théories de la perception déjà reçues, et en tout premier lieu de la phénoménologie. L'ouvrage entend ainsi mettre à l'épreuve, en l'extrayant des manuscrits où elle se tient encore largement, une doctrine qui est à la fois une anticipation des développements philosophiques ultérieurs sur le langage et une théorie qui permet souvent des analyses plus fines que nombre de réflexions issues des théories qui lui ont succédé.

On comprend ainsi que Jean-Pierre Cléro choisisse de faire de Maurice Merleau-Ponty son interlocuteur privilégié, puisqu'il est question de savoir si l'on peut encore tenir la thèse du « primat de la perception » et construire de ce point de vue une philosophie entière, poursuivie jusque dans le domaine politique, ou s'il n'est pas temps de faire autre chose. Mais c'est dans une traversée bien plus longue que l'auteur s'engage, souvent en dehors des œuvres philosophiques et par les textes les plus divers (mathématiques, littéraires, psychanalytiques), pour montrer combien nombreux sont ceux qui se sont avancés dans l'analyse des signifiants de la perception. Car il n'y a nulle autre possibilité que d'entrer dans le jeu des oppositions argumentatives, définitionnelles, doctrinales et dans les façons les plus diverses et les plus fines de traiter de la perception non pour montrer leur inanité mais pour démontrer comment une philosophie des fictions permet de dépasser des antinomies dans lesquelles la pensée se trouve trop facilement enfermée.

C'est sur plusieurs registres que s'exerce la mise à l'épreuve de la théorie des fictions. Il y a tout d'abord une attention aux mots – « tout dépend des mots », insistait Bentham – qui conduit à examiner ce que signifie pour les uns et pour les autres le verbe « percevoir » et le substantif « perception ». Immédiatement le statut de « fiction » de la perception en tant que notion s'impose à l'analyse. Ensuite, le lien très étroit qui existe entre le langage et la perception singulière suppose une théorie qui en rende compte. On ne perçoit pas seulement et pas d'abord avec les organes physiques des sens mais avec l'organe même du discours, la langue que l'on parle. Une perception n'est-elle donc pas justement le prototype d'une entité fictive ? On doit rappeler que, selon Bentham, rien ne peut être pensé si l'on ne distingue pas deux types d'entités, les réelles et les fictives. La plus grande difficulté provient du fait que le langage met sur un pied d'égalité les deux sortes d'entités qui prennent une même forme verbale. Parler c'est être obligé d'attribuer, quoiqu'on ne le veuille pas toujours, une existence à tout élément nommé. Les entités fictives acquièrent ainsi une « réalité verbale » qu'il est souvent bien délicat de distinguer d'une « réalité réelle ». Selon la conviction qu'en avait Bentham, c'est par cette « réalisation verbale » que s'opère la transcendantalisation des entités, que naissent les idéologies, que se constituent les oppositions politiques et les antinomies d'une langue qui fonctionne par bifurcation. Dans l'autre sens, les entités réelles sont habillées par les mots qui les mettent au même rang que les fictions, au point que même si le locuteur veut vraiment signifier leur existence réelle elles sont en quelque sorte banalisées par le langage. Du fait même que l'analyse se fait dans

l'élément de la langue, que l'expérience qui permettrait de distinguer la chose réelle de la simple fiction est bien souvent impossible, il faut admettre que l'opération de tri entre les deux sortes d'entités est toujours contextualisée. On peut bien avec Bentham tenir que les sensations sont réelles, dès qu'on les relie entre elles, dès qu'on les *relate* à autrui ou à soi-même, le passage par les mots les « fictionnalise » au point que leur degré de réalité s'estompe peu à peu dans l'élément de la symbolisation.

Contrairement à la théorie de la représentation issue du sensualisme, et malgré des hésitations évidentes, la théorie benthamienne permet une échappée de la triade des objets, des perceptions et des concepts par laquelle on s'est longtemps donné la genèse de la pensée elle-même. Tout son intérêt et toute son importance, qui n'ont pu sans doute apparaître qu'après coup, consistent à montrer que seule la prise en compte des signifiants de la perception et des émotions, eux-mêmes mouvants, construits, déconstruits, perdus et retrouvés, singuliers et collectifs, était à même de rendre compte de ce qu'on voyait et entendait aussi bien que de ce qu'on ne voyait ni n'entendait. Mais plus encore, la théorie des fictions apparaît essentielle à une théorie de la perception quand elle montre combien c'est le discours lui-même qui permet la croyance en un monde d'entités réelles, selon l'intention du locuteur et la sélection qu'il opère entre ce qu'il entend faire passer pour du réel et du fictif.

Reprendre la théorie des fictions par la question de la perception ne va pas de soi. La perception est un domaine où Bentham ne s'est aventuré que prudemment tant elle implique une croyance puissante dans la réalité de ce qui est perçu. C'est plutôt par le domaine moral, juridique et politique qu'une telle théorie a pu prendre naissance dans la mesure où les leurre de langage, les *fallacies*, s'y manifestent avec profusion et parce que l'écart entre ce qui se dit et ce qui est en jeu, en particulier sur le plan des intérêts, est relativement lisible du fait même des conflits d'intérêts qui divisent les sociétés. Dans la démarche de Bentham, cette théorie des fictions ne s'est dirigée vers l'ontologie que tardivement. La perception des choses s'y révèle constituée par les façons de parler, exactement comme les rapports humains dépendent des signifiants dont on se sert pour juger. Mais pour le montrer, on ne peut guère s'appuyer sur les divergences politiques ou morales. Il faut en passer par des élaborations déjà plus complexes, et en particulier par les doctrines philosophiques et les œuvres esthétiques au travers desquelles le jeu des sensations, des intérêts et des passions se représente.

On ne trouvera donc pas, dans cet ouvrage, un exposé complet de la *Théorie des fictions* de Jeremy Bentham, laquelle est devenue partiellement accessible, au moins à travers certains textes fondamentaux traduits en français. Le propos de Cléro vise plutôt à la constitution d'une philosophie des fictions. La conviction de l'auteur est que la *Théorie des fictions* n'est pas un simple objet, plus ou moins curieux, de l'histoire des idées, qu'elle est à la fois d'une grande fécondité, quand elle sert par exemple à lever nombre de ces contradictions qui partagent les philosophies, et d'une grande difficulté compte tenu des problèmes fondamentaux qu'elle contient, dont le moindre n'est pas celui de la « vérité » et de son statut

dans une telle problématique. C'est en tout cas le premier acte d'un véritable projet à même d'articuler la philosophie, la psychanalyse, la littérature, la politique sur de nouvelles bases.

Christian LAVAL

Gérard CHAZAL, *Les Réseaux du sens. De l'informatique aux neurosciences*. Seyssel, Champ Vallon, 2000. 16 × 21, 287 p., bibliogr. (Milieux).

Dans *Les Réseaux du sens*, Gérard Chazal confronte une question traditionnelle de la philosophie, sur la nature du sens, aux données contemporaines de l'informatique et des neurosciences. L'enjeu du texte est l'élaboration d'un matérialisme cohérent avec les résultats des sciences positives. L'ouvrage présente ainsi une critique radicale de la position spiritualiste ou dualiste qui distingue le sens, toujours transcendant, de son support matériel. Ce rejet du dualisme se double de la tentative de constituer un matérialisme original, qui se différencie aussi bien d'une simple extension à l'esprit du mécanisme cartésien, que d'un matérialisme éliminationniste qui réduit les énoncés de la psychologie aux données des neurosciences. Quels concepts s'élaborent dans la confrontation entre philosophie, informatique et neurosciences pour un matérialisme contemporain ?

Le texte est écrit dans un mouvement qui va du sens comme objet au sujet du sens. La philosophie instaure et gouverne cette relation en miroir entre cet objet qu'est l'ordinateur manipulant des contenus sémantiques et le sujet humain du sens, envisagé sous l'angle neurologique. La partie centrale de l'ouvrage s'appuie sur la tradition de la philosophie et les développements récents de la logique pour définir les concepts sur lesquels repose cette construction spéculaire : le concept leibnizien d'expression et le concept de réseau.

La première partie s'appuie sur l'expérience informatique pour défendre trois thèses : le sens n'a pas d'existence sans une matérialité, le sens dépend du rapport entre un ordre objectif et un ordre subjectif, ce rapport même est un rapport complexe où l'ordre subjectif n'est pas le simple reflet de l'ordre objectif mais produit de l'ordre objectif.

Le premier chapitre présente la critique des positions du dualisme et du fonctionnalisme. Le dualisme suppose une distinction du sens et de son support pour nier que l'ordinateur ait accès à des significations. Le sens est l'apanage du seul esprit humain qui interprète les données fournies par l'ordinateur. Chazal ruine la position dualiste en examinant les efforts de l'informatique pour doter l'ordinateur d'un accès aux contenus sémantiques. Si le dualisme correspond à un discours diffus sur l'informatique, le fonctionnalisme, en revanche, est une philosophie établie de l'informatique. Chazal se range dans la ligne de critiques qui reprochent au fonctionnalisme d'ignorer le caractère déterminant du support matériel dans la constitution des significations. Pour le fonctionnaliste, une même fonction peut

s'incarner sur différents supports. Chazal fait valoir le poids de la matérialité informatique en exposant l'histoire des composants de l'ordinateur.

Le premier chapitre établit que le sens dépend d'une matérialité, le second qu'il dépend d'une matérialité ordonnée. L'auteur expose les différentes sortes d'ordre utilisées pour représenter les connaissances en machine, afin de mettre en lumière la puissance de signification de l'ordre réticulaire. Il montre que cet ordre interne des connaissances en machine se rapporte à un ordre externe. Il prend en exemple le code ASCII qui représente en binaire les différents caractères et suit les contraintes de l'ordre alphabétique (faute de quoi la manipulation automatique des listes serait impossible).

Enfin, Chazal met en valeur la complexité du rapport des réseaux de signes à la réalité en s'appuyant notamment sur les expériences de la pédagogie assistée de l'ordinateur. Il soutient, après comparaison de l'algorithme des tours de Hanoi (représentation de la récurrence en machine) et des études de Jean Piaget, qu'il y a une grande proximité entre la manière dont l'esprit accède au sens et dont l'ordinateur le manipule. Chazal refuse que l'ordinateur soit réduit dans la pratique pédagogique au seul rôle d'un outil destiné à rendre plus attrayantes des connaissances qui restent fondamentalement de l'ordre du livre, pour mettre en valeur l'idée que l'ordinateur est une machine à apprendre à raisonner.

La deuxième partie de l'ouvrage change de point de vue et se place « aux marges de l'expérience informatique », pour en élaborer les acquis. Cette partie nous conduit d'un matérialisme du sens comme objet informatique à la description matérialiste de la production du sens chez le sujet humain.

La confrontation de l'informatique à la philosophie est à double entrée : les conceptions de la philosophie éclairent la pratique informaticienne, l'expérience informatique conduit à une lecture renouvelée, et parfois, selon Chazal lui-même, fort peu classique, des grands textes de la philosophie. Les auteurs ne sont pas étudiés sur le même plan : si la lecture d'Aristote et de Descartes est justifiée par la comparaison de leurs méthodes avec les méthodes actuelles de la programmation informatique, c'est dans la lecture de Leibniz que Chazal trouve les concepts qui lui permettent de décrire effectivement la pratique informaticienne. La référence à Leibniz sert à mettre au point les deux concepts centraux de l'ouvrage : la notion d'expression et la notion de réseau. Si le signe est conventionnel, il n'est jamais arbitraire car l'ordre des signes exprime, selon un rapport constant et réglé, l'ordre des choses. Avec le binaire, la combinatoire prend le pas sur la fonction de désignation. Chazal cherche à montrer la présence de l'idée de réseau dans la philosophie de Leibniz.

L'exposé de philosophie de la logique a un double enjeu : il s'agit d'une part de montrer que la logique n'est pas figée dans la dualité entre syntaxe et sémantique, mais qu'il y a des logiques qui intègrent le contenu. L'ordinateur ne peut donc être réduit à une machine syntaxique. D'autre part, la logique n'est pas un monde d'objectivités idéales. Il y a des logiques qui intègrent la situation épistémique du sujet.

Chazal utilise des considérations sur l'architecture des systèmes-experts pour refuser la conception platonicienne d'un monde de signification précédant l'empirie :

dans un système-expert, les règles ne se distinguent jamais totalement des faits empiriques. En effet, la base de connaissances est déjà structurée sous forme de conditionnelles logiques, et les règles du moteur d'inférence sont contaminées par les données empiriques avec l'utilisation d'heuristiques (méta-règles évaluant les parcours de recherche les plus prometteurs). La structure logique ne fonctionne donc pas indépendamment des contenus. L'auteur montre ensuite que les logiques non monotones prennent en compte le caractère partiel des connaissances exprimées dans les prémisses. Le sujet de la connaissance est ainsi replacé au cœur de la logique. Ce chapitre se conclut avec une thèse radicale : l'approche logique du sens restreint la signification à l'usage des signes. Or on peut considérer que la signification émerge de structures prélangagières. On peut dissocier la notion de sujet de la notion de langage.

Chazal poursuit la question de l'origine du sens dans la troisième partie, en abandonnant le paradigme fonctionnaliste pour se ranger résolument du côté connexionniste. Le rapport entre l'informatique et le sens s'enrichit d'un troisième terme : le cerveau. À quel matérialisme conduit le connexionnisme ? Chazal réfute les arguments qui nient l'équivalence entre états cérébraux et états mentaux sans adopter cependant une position strictement réductionniste. Deux arguments viennent infléchir le réductionnisme : d'une part, on peut admettre des niveaux relativement indépendants de description et d'explication des phénomènes mentaux ; d'autre part, argument plus fort et non simple facilité d'exposition, le holisme rend mieux compte que le matérialisme réductionniste du fonctionnement du système nerveux et de l'existence de propriétés émergentes au niveau du tout. Il s'agit de déterminer comment des propriétés nouvelles naissent du fait des relations au niveau de l'organisation cérébrale. C'est le schéma que Chazal applique à la signification. Par l'examen des réseaux de neurones formels, il veut montrer que les moyens existent pour déterminer les relations au sein des réseaux, afin de rendre compte de l'acquisition de structures significatives. Cette approche remet radicalement en cause la séparation du sens et de son support et la séparation du biologique et du cognitif, puisque des faits de signification peuvent naître d'une évolution d'un système physique antérieurement à toute expression symbolique. La capacité du réseau est liée à une configuration et non à une représentation symbolique dans la machine.

Il reste à comparer cette nouvelle approche réticulaire de la signification au cerveau, son modèle. Il s'agit de prendre le spiritualiste à son propre jeu en montrant que l'on peut expliquer le pouvoir donateur de sens du sujet au niveau de l'organisation cérébrale. À une philosophie de la rupture, Chazal entend substituer une philosophie de l'évolution qui représente le sens comme une structure immanente à l'évolution de la matière vers la complexité. « Le sens [...] tient à la rencontre entre une forme cérébrale dynamique et une forme perçue » (p. 266).

Cet ouvrage constitue un acte philosophique et implique une redéfinition de la place de la philosophie dans l'ordre des savoirs. Chazal pose comme postulat une organisation réticulaire des connaissances dont la philosophie serait un des nœuds. Le choix de cette méthode, qui part de la philosophie pour examiner les données des sciences, permet de maintenir une grande unité du propos en dépit de la pluralité

des sujets étudiés. Les descriptions techniques notamment restent toujours accessibles et sont mises au service des questions philosophiques. Ce parti pris est cependant complémentaire d'autres recherches plus historiques, qui retracent, dans leur complexité, les débats internes aux différentes disciplines.

Mathieu TRICLOT

Daniel PARROCHIA, dir., *Penser les réseaux*. Seyssel, Champ Vallon, 2001. 16 × 21, 272 p. (Milieux).

Penser les réseaux présente les différentes interventions qui se sont tenues au colloque organisé à Montpellier, les 20 et 21 mai 1999, par le Centre de recherche et d'analyse sur la technique, l'épistémologie de l'information et les réseaux. L'ouvrage rassemble, sous la direction de Daniel Parrochia, des contributions de nature très diverse – d'épistémologie, de philosophie de la technique, de cosmologie, d'histoire de la philosophie, de géographie, d'histoire de la logique –, dont les objets sont techniques ou scientifiques, mais qui restent toujours claires et accessibles.

La notion de réseau nous est imposée par la multiplicité de ses usages sociaux (« tout le monde parle de réseau ») et par la normativité de ces usages (il faut « faire réseau »). L'objet de l'ouvrage est de répondre à l'inflation des discours sur le réseau par la production d'une « notion commune », d'une « idée vraie » du réseau. Le texte combine trois méthodes pour mettre en ordre les différentes contributions. Son premier enjeu consiste ainsi à inventer des manières de se saisir d'un objet aussi pluriel et éclaté que le réseau.

Tout d'abord, trois types de questions vont se croiser tout au long du volume et en définir les objets, à savoir le soupçon sur la ferveur réticulaire (« Pourquoi un tel engouement pour le réseau dans nos sociétés individualistes ? »), puis une interrogation sur la portée cognitive de la notion (« Que nous apprend l'usage de la notion de réseau ? »), enfin, la question des réseaux concrets, de leur construction, de leurs formes et de leurs effets. L'ouvrage produit ainsi une première déclinaison de l'objet réseau : le réseau est une figure des discours sociaux, un modèle épistémologique, un objet du monde. Comment combiner ces différentes dimensions ?

L'article de Daniel Parrochia, qui sert d'introduction à l'ouvrage, propose une autre segmentation. Parrochia oppose le noyau dur de la rationalité réticulaire à l'ensemble diffus des usages du réseau. Le bénéfice de cette approche est que la description de la rationalité du réseau est très précise et peut s'appuyer sur des corpus théoriques bien définis. Le réseau se distingue d'abord des chaînes de raisons ou des taxinomies classiques, en ce qu'il permet de penser une pluralité des liaisons dans l'espace. Il s'identifie alors au concept mathématique de graphe. Mais le réseau se distingue du graphe et de la simple configuration topologique, en ce qu'il est le lieu d'une circulation. Le réseau s'enrichit alors de l'histoire de la

théorie des flux électriques. En outre, le réseau nous permet d'aborder des problèmes plus complexes, comme ceux des flots aléatoires et des flux mobiles.

Le problème de cette approche est qu'elle ne permet pas de dépasser la juxtaposition entre usages légitimes, réglés, du réseau et la multiplicité « nébuleuse » des usages sociaux. Cette dernière ne peut être considérée autrement que par défaut. Autant cette distinction entre usages réglés et usages flous est nécessaire, autant elle se tient en deçà de l'exigence d'une notion commune.

Enfin, le plan de l'ouvrage, qu'a établi Parrochia, suggère une dernière façon, polémique, d'ordonner les discours sur le réseau, en opposant, dans ses deux premières parties, les réticulophiles aux réticulophobes. Ce conflit visible, entre ceux qui défendent le réseau et ceux qui le critiquent, est en fait redoublé par des oppositions très fortes au sein des deux groupes.

D'une certaine manière, l'article de Joël de Rosnay, sur « La société de l'information », est plus proche de l'article de Bernard Stiegler, « Hypostases, phantasmes, désincarnations », que de celui de la géographe Céline Rozenblat – pourtant « réticulophile » elle aussi – sur « Les réseaux de ville et les réseaux des entreprises multinationales en Europe (1990-1996) ». Le réseau du géographe sert à penser un espace hiérarchisé, inégal, dominé (phénomène de la métropolisation). Le réseau de *la société de l'information* devient le fétiche de la fluidité des échanges, l'ubiquité des utilisateurs, l'abolition des frontières, d'une organisation non hiérarchique des pouvoirs. Il sert à naturaliser, par des métaphores biologiques notamment, les transformations sociales : « Au cours de l'évolution biologique, la différence s'est faite entre les organismes vivants capables de réagir rapidement aux modifications de leur environnement, de s'adapter [...] et d'innover [...]. Le jeu des mutations et de la sélection naturelle a favorisé la création de diversité conduisant à des solutions nouvelles. Dans les sociétés humaines, les inventions, les innovations et les réactions du marché conduisent à accroître la diversité des voies possibles pour répondre aux problèmes posés [...] » (p. 48). Plusieurs articles reconduisent cette figure biopolitique du réseau ; avec ce paradoxe que le réseau est considéré à la fois comme une réalité naturelle, présente de tout temps, et comme quelque chose dont il faut cependant annoncer pour aujourd'hui l'avènement. D'où un style « prophétique » plutôt que démonstratif, comme dans l'article « L'univers des réseaux » de l'astrophysicienne Sylvie Vauclair : « L'homme s'approche de la divinité car il est en train de participer lui-même à son propre passage dans un niveau supérieur de complexité. Alors qu'elle s'impose à nous comme une nouvelle dimension de l'évolution de l'humanité, nous devons suivre cette mutation en restant en état d'éveil permanent » (p. 34).

Daniel Parrochia est conduit, dans l'introduction à la deuxième partie, à opposer le « concept très différencié de réseau » à « l'image sociale qui s'en est constituée » et qui ne ressemble plus qu'à une « nébuleuse (pour ne pas dire [un] épouvantable brouet) qu'il vaut mieux considérer avec humour ». Cette dimension polémique de l'ouvrage se substitue de fait à l'objectif initial de construction d'une notion commune, mais la confrontation des articles est féconde, et représentative de l'état du discours sur le réseau.

La dernière partie présente une histoire philosophique de la notion de réseau. Les articles se complètent. François Dagognet (« Pourquoi le réseau s'impose-t-il dans les sciences de la nature ? »), par exemple, retrace l'histoire du réseau dans les sciences expérimentales. C'est la question épistémologique de l'ordonnement du divers et du complexe. D'abord utilisé par les naturalistes, le réseau permet d'ordonner une multitude, en conservant, par rapport à l'échelle des êtres ou à la taxinomie linéaire, la pluralité des relations. Le concept est ensuite repris et développé par les physiologues, théoriciens de l'organisme et de la vitalité, puis par la psychologie sociale et la sociométrie. La notion de réseau introduit un modèle antisubstantialiste, où le rôle des unités dépend de l'ensemble de leurs relations, de la distribution croisée des distances réciproques.

L'article de Pierre Musso retrace l'histoire sociale de la notion de réseau. Il montre que les significations contemporaines du réseau prennent source dans l'œuvre de Saint-Simon, avant de se dégrader et de se fétichiser en idéologie de la communion par la communication. La notion de réseau sert une lecture biologicopolitique de la transformation sociale. Saint-Simon mobilise deux figures préconstituées du réseau : le corps brut est comme un filet qui retient les solides et laisse échapper les liquides, le corps organisé assure la circulation des fluides. Le réseau permet de penser la transition du corps brut à l'organisme. L'organisme meurt lorsqu'il se solidifie et que la circulation s'arrête, le corps brut se fluidifie lorsqu'il s'échauffe. Fluidifier le corps social consistera à organiser la circulation du sang-argent. Du réseau qui quadrille et surveille (système féodal), on passe au réseau qui fait circuler et communiquer (système industriel). Un certain nombre des lieux communs de l'idéologie du réseau, qui servent à « penser » la réticularité comme irruption radicale de la « société de l'information », sont forgés, en réalité, dans le groupe des saint-simoniens. Le réseau a une histoire longue.

Penser les réseaux multiplie ainsi les éclairages sur la notion. L'article de Pierre Musso, par exemple, permet de relire celui de Joël de Rosnay, du point de vue des tropes forgés par les saint-simoniens. Mais, si la caractérisation du noyau de rationalité du réseau produit des analyses très éclairantes, la question des usages sociaux du réseau reste, en général, limitée à l'opposition des réticulophiles et des réticulophobes, soupçon contre enthousiasme, enthousiasme contre soupçon. Des trois questions initiales – les réseaux concrets, l'épistémologie du réseau, l'usage social du réseau – la troisième est celle qui est traitée le moins efficacement. Dans la perspective de la construction d'une notion commune, il manque les apports de la sociologie. On peut penser notamment à l'analyse de l'usage du réseau dans la littérature de management, qu'ont menée Luc Boltanski et Eve Chiapello dans *Le Nouvel Esprit du capitalisme* (Paris, Gallimard, 1999).

Mathieu TRICLOT

Michel BOURDEAU, « *Locus logicus* ». *L'ontologie catégoriale dans la philosophie contemporaine*. Paris, L'Harmattan, 2000. 13,5 × 21, x-274 p., bibliogr., index (Commentaires philosophiques).

Très peu d'études systématiques ont été consacrées à l'ontologie catégoriale, dont il est pourtant souvent question dans la pensée contemporaine. L'auteur estime donc à bon droit que son travail vient combler une lacune.

L'ouvrage s'interroge sur le retour du thème catégorial au xx^e siècle, puis sur les arguments qui ont pu conduire à « rebrousser chemin ». Il rappelle, au chapitre I, ce que fut l'instauration par Aristote d'une théorie des catégories (les « genres suprêmes de l'être ») et sa reprise par Kant (les « concepts purs de l'entendement »), mais il ne s'attarde pas sur ces origines, qui ont exercé peu d'influence sur les auteurs contemporains.

Les raisons qui ont amené ceux-ci à reprendre les recherches catégoriales sont reliées à plusieurs courants (qui souvent se croisent entre eux ou s'opposent) : d'abord à la théorie des types de Bertrand Russell et au projet de Gilbert Ryle (anticipé par Rudolf Carnap) de la « transplanter » (p. 31) dans le langage ordinaire, aux investigations sémantiques d'Edmund Husserl et de Stanisław Leśniewski, aux grammaires catégorielles de Kazimierz Ajdukiewicz, de Yehoshua Bar-Hillel et de leurs continuateurs.

Michel Bourdeau fait porter l'essentiel de ses développements sur Russell (dès le chapitre II), Wittgenstein (au chapitre III, principalement), Carnap et Quine. Le cas, jugé éminent, de ce dernier donne lieu à l'exposé le plus nourri (aux chapitres V-VII). On aurait pu attendre de Quine, en effet, qu'il s'intéressât à une théorie des catégories puisqu'il réhabilite l'ontologie (contre « l'oubli de l'être » chez Carnap, étudié sous ce titre au chapitre IV), mais son évolution l'en a détourné. Le chapitre VIII, qui a valeur de conclusion, revient sur la thèse soutenue au cours des analyses : la notion de catégorie semble bien conduire à des impasses. Un espoir demeure, cependant, car comme le dit la dernière ligne du livre : « [...] on peut affirmer sans crainte que la question catégoriale n'est pas close » (p. 251).

Quelques points importants sont à souligner. Bien qu'un énoncé perçu comme non-sens (*Napoléon est un multiple de 2*) passe à côté de la vérité autrement que *3 est un multiple de 2*, on peut (si on suit Quine) le tenir pour faux, « quitte à aboutir par endroits à des conséquences peu intuitives » (p. 194-195), car on gagne « en systématisme et en simplicité » (p. 26). Bourdeau insiste sur le statut incertain du non-sens qui pourrait bien s'opposer au sensé par une « différence de degré plus que de nature » (p. 62). Pourquoi ne dirait-on pas (avec Wittgenstein) que le non-sens est relatif au contexte, ce qui lui rendrait quelque valeur ? L'auteur ne semble pas loin de le penser. Il écrit en effet que « le sens d'un mot est toujours fonction de son contexte » (p. 43).

Michel Bourdeau explique pourquoi Ludwig Wittgenstein a pu parler de « l'abominable théorie des types ». Que « la forme logique ne se laisse pas dire » condamne à l'échec une théorie des types ou des catégories. Il fait remarquer que Russell avait reconnu aussi l'indicibilité : pour restreindre une variable à un certain

domaine, il faut d'abord l'employer sans cette restriction. « Si restriction il y a, il est donc essentiel qu'elle aille *sans dire* » (p. 40).

Chez Carnap, on examine, notamment, la célèbre distinction entre le mode matériel du discours, dont l'absolutisme égarerait la philosophie, et le mode formel, sainement relatif à un langage donné. Un point crucial est celui de savoir ce qui doit être traduit (comme *2 est un nombre*) dans le mode formel (« 2 » *est un nom de nombre*), et ce qui n'a pas à l'être (comme *Paris est une ville*). D'autre part (p. 63), si *Napoléon est un multiple de 2* est un non-sens, et si « *Napoléon* » *n'est pas le nom d'un multiple de 2* est pourvu de sens et vrai, c'est que « *Napoléon* » est le nom d'un être humain et que les êtres humains ne sont pas des multiples de 2. Il semble donc difficile d'échapper aux « énoncés ontologiques » et au mode matériel.

Chercher s'il faut accorder la victoire à Quine contre Carnap (qui a d'ailleurs évolué), comme on le fait souvent, donne lieu au réexamen d'un dossier qu'on pourrait croire bien connu. L'auteur soutient que la conception de l'ontologie défendue par Quine (empirique et existentielle) est en rupture quasi totale avec celles qui l'ont précédée. Puis il montre comment Quine lui-même a rogné peu à peu la part qu'il accordait à l'ontologie et s'est rapproché de son ancien adversaire. Si elle a triomphé des premiers obstacles (à forte technicité logique) : modélisation, théorème de Löwenheim-Skolem, conditions de vérité des phrases quantifiées, elle a succombé à une autre vague d'arguments (plus directement « philosophiques », p. 212) : indétermination de la traduction radicale, inscrutabilité de la référence, relativité de l'ontologie. La situation de ce que Quine nomme « l'idéologie », par opposition à l'ontologie, change profondément, comme Bourdeau le montre bien. On appréciera également l'exposé sur les fonctions de représentation (p. 198 sq.), nécessaires à la réduction ontologique. En revanche, on aimerait trouver une élucidation du concept fréquemment employé d'ontologie formelle.

L'ouvrage a surtout deux points sensibles : dès l'avant-propos, l'auteur explique qu'il parlera peu d'Edmund Husserl, de Charles S. Peirce, de Peter Strawson et de Fred Sommers, jugés trop éloignés du courant auquel il entend s'adresser. Ces exclusions vont fragiliser la généralité de ses conclusions.

Le deuxième point sensible est la mise à l'écart draconienne des traitements formels des catégories (en linguistique et en logique). On l'explique ainsi :

1) La grammaire porte sur le langage ordinaire, or il faut un langage idéal pour y voir clair philosophiquement (ce que Quine soutiendrait aussi). Pourtant, si les « langues naturelles restent le seul moyen d'expression de la philosophie » (p. 109), est-il possible de négliger les approches grammaticales ?

2) Le point de vue logique (plus proche de la philosophie) se distingue du point de vue grammatical. « Pour le grammairien, *Bardamu a peur* et *chacun a peur* ont même structure », alors qu'il faut *a peur* (*Bardamu*) et $(\forall x) a peur(x)$ (p. 74). La grammaire est supposée être, en somme, une mauvaise logique. Mais celle qu'on invoque n'est-elle pas plutôt naïve ou dépassée ? D'autre part, si la métaphysique, selon Wittgenstein, n'est que de la mauvaise grammaire (p. 74), ne pourrait-on rectifier ou éviter la métaphysique par une bonne grammaire ?

3) « Ce qu'il y a de catégoriel dans les grammaires du même nom n'a toujours pas été clairement montré » (p. 28). Ne suffit-il pas de donner « un algorithme permettant de décider [...] de la bonne formation catégoriale », dont Ajdukiewicz est crédité (p. 115) ?

4) « Le problème philosophique ne concerne pas les catégories linguistiques dans leur ensemble mais la seule catégorie des mots catégoriaux » (p. 23). Pourtant, il resterait toujours à considérer une partie des traitements linguistiques.

5) Les grammaires catégorielles pensent « les parties du discours non plus comme des classes de substitution mais comme des fonctions ». « La fonctionnalité [...] repose sur l'idée de distinguer un petit nombre de types, ou catégories, primitifs, puis une infinité de types, ou catégories, fonctionnels dérivés, alors que le concept classique identifie catégorie et primitif » (p. 55). Mais est-il bon que toutes les catégories soient primitives ? En outre, la théorie de la fonctionnalité (en logique combinatoire) peut aussi se formuler en termes de classes et la notion de *principal type-scheme* réduit l'infinité des types dérivés.

Bourdeau subordonne les investigations positives à une compréhension au plus haut niveau d'exigence (qu'on peut appeler philosophique) de ce que recouvre un concept. « La catégorisation n'a guère de sens tant qu'on ne sait pas ce que sont les catégories » (p. 28). Nous dirions, au contraire, qu'on peut apprendre ce que sont les catégories en se heurtant aux difficultés qu'on aura à les employer. La fuite en avant des sciences est une autre manière de mener l'exploration conceptuelle.

Certes, l'erreur catégoriale doit dépendre de la notion de catégorie, et une catégorie est ce à quoi un terme s'applique avec sens, c'est-à-dire sans erreur catégoriale, mais faut-il conclure à un « cercle » (p. 191) ? On sait que la probabilité se définit en première approche comme le rapport du nombre des cas favorables au nombre des cas possibles, quand ces derniers sont équiprobables. N'a-t-on pas ici une difficulté assez comparable (le définissant « utilise subrepticement » le défini), mais dont le calcul des probabilités se tire d'affaire ?

Si on a du mal à penser ce qu'est une catégorie, peut-on hasarder l'idée d'une pensée ou d'une « ontologie sans catégorie » (p. 195) ? Même dans l'approche formelle la plus libertaire qui soit, celle de la logique combinatoire, on se donne des règles de formation pour les assemblages. Peut-on renoncer sérieusement à l'idée de non-sens ? L'auteur, si réservé qu'il soit, comme Quine, à l'égard de celle-ci, écrit pourtant que « la référence est non-sens », que « l'ontologie risque de tomber dans le non-sens » (p. 217, 218, 230). Faut-il donc recourir à des catégories mais les laisser « indicibles » ? Le dernier mot est-il que « les conditions de sens sont ineffables » (p. 248) ?

Il reste quelques peccadilles à signaler. « La seconde partie comprend quatre [et non trois] chapitres » (p. vii). Les en-têtes des pages de droite, au chapitre III, portent le numéro et l'intitulé du chapitre IV. On peut regretter certaines répétitions (« le solide réalisme » de Russell, la « fantomatique idéologie », la comparaison faite par Russell entre la logique et la zoologie), la faute sur « Ajdukiewicz » (qui devient « Adjukiewicz »), la traduction de *übersichtlich* par « perspicieuse », le mot « insensé », qui remplace souvent « privé de sens », de manière impropre.

Si on comprend le livre comme portant sur l'ontologie catégoriale chez les auteurs d'une même « généalogie » (p. 17), Russell, Wittgenstein, Carnap, Quine, on le trouvera très éclairant, mais il faut relativiser aux auteurs considérés, malgré leur stature, ce qui est dit au plan général, du concept de catégorie. Il semble difficile en effet de conclure sur lui d'une manière aussi tranchée (et négative), alors qu'on a sélectionné drastiquement les contributions. Lu de cette manière, le livre est convaincant, magnifiquement informé, subtil et médité. Il est dense, mais toujours clair. Il sait forger aussi des formules qui stylisent un développement. On en recommandera vivement l'étude.

Jean-Pierre GINISTI

- À l'ombre du pouvoir. *Les entourages princiers au Moyen Âge*. Études réunies par Alain MARCHANDISSE et Jean-Louis KUPPER. Liège/Genève, Bibliothèque de la faculté de philosophie et lettres de l'université de Liège/Diff. Droz, 2003. 16 × 24, 412 p.-20 p.
- Archivio per l'antropologia e la etnologia*, vol. CXXXII, 2002. Florence, Società Italiana di Antropologia e Etnologia, 2002. 17 × 24, 404 p., index.
- « Herder et les Lumières. L'Europe de la pluralité culturelle et linguistique », *Revue germanique internationale*, 20, 2003. Paris, Presses universitaires de France, 2003. 15,5 × 24, 215 p.
- « La connaissance du physique et du moral (XVII^e-XVIII^e siècles) », dir. Thierry HOQUET, *Corpus*, 43, 2003. Nanterre, centre d'études d'Histoire de la Philosophie moderne et contemporaine, université Paris X, 2003. 14,5 × 20,7, 456-XXIII p.
- « "La mémoire". Le Temps des savoirs », *Revue interdisciplinaire de l'Institut universitaire de France*, 6, 2003. Paris, Odile Jacob, 2003. 14,5 × 22, 203 p.
- Lectures de Michel Foucault*. Vol. II : *Foucault et la philosophie*. Textes réunis et introd. par Emmanuel DA SILVA. Lyon, ENS Éditions, 2003. 14,7 × 20,7, 136 p. (Theoria).
- Lectures de Michel Foucault*. Vol. III : *Sur les Dits et écrits*. Textes réunis et introd. par Pierre-François MOREAU. Lyon, ENS Éditions, 2003. 14,7 × 20,7, 104 p. (Theoria).
- « Les philosophies de Fontenelle ou les voiles d'Isis », dir. Alain NIDERST, *Corpus*, 44, 2003. Nanterre, centre d'études d'Histoire de la Philosophie moderne et contemporaine, 2003. 14,5 × 20,7, 139-XIX p.
- Mondes, formes et société selon Giordano Bruno*. Textes réunis par Tristan DAGRON et Hélène VÉDRINE. Paris, Vrin, 2003. 16 × 24, 223 p. (De Pétrarque à Descartes, LXXI).
- Naturaliser la phénoménologie. Essais sur la phénoménologie contemporaine et les sciences cognitives*. Sous la dir. de Jean PETITOT, Francisco J. VARELA, Bernard PACHOUD, Jean-Michel ROY. Paris, CNRS Éditions, 2002. 15,5 × 24, XIII-798 p., bibliogr., index (CNRS Communication).
- AFFERGAN Francis, BORUTTI Silvana, CALAME Claude, FABIETTI Ugo, KILANI Mondher et REMOTTI Francesco, *Figures de l'humain. Les représentations de l'anthropologie*. Paris, Éditions de l'EHESS, 2003. 15 × 22,5, 359 p., bibliogr. (Recherches d'histoire et de sciences sociales/Studies in History and the Social Sciences, 98).
- AGLAN Alya, MARGAIRAZ Michel et VERHEYDE Philippe, dir., *La Caisse des dépôts et consignations, la Seconde Guerre mondiale et le xx^e siècle*. Av.-pr. par Daniel LEBÈGUE et par Pierre SARAGOUSSI. Introd. par Jean AZÉMA. Paris, Albin Michel, 2003. 14,4 × 22,4, 672 p., ann., index (Collection « Histoire » de la Mission historique de la Banque de France).

- APORTONE Anselmo, ARONADIO Francesco et SPINICCI Paolo, *Il Problema dell' intuizione. Tre studi su Platone, Kant, Husserl*. Introd. di Aldo BRANCACCI e Gianna GIGLIOTTI. Naples, Bibliopolis, 2002. 15,1 × 21, 194 p., fig. (Quaderni di Filosofia, 1).
- ASBACH Olaf, *Die Zähmung der Leviathane. Die Idee einer Rechtsordnung zwischen Staaten bei abbé de Saint-Pierre und Jean-Jacques Rousseau*. Berlin, Akademie Verlag, 2002. 17,5 × 24, 352 p., bibliogr., index (Politische Ideen, Bd. XV).
- ATLAN Henri, *Les Étincelles de hasard*. T. II : *Athéisme de l'écriture*. Paris, Seuil, 2003. 17,5 × 24, 445 p., index.
- BADINTER Élisabeth, *Fausse route*. Paris, Odile Jacob, 2003. 14 × 20, 223 p.
- BAINTON Roland H. et CANTIMORI Delio, *The Correspondence of Roland H. Bainton and Delio Cantimori, 1932-1966. An enduring transatlantic friendship between two historians of religious toleration*. With an appendix of documents ed. by John TEDESCHI. Florence, Olschki, 2002. 14,5 × 22, XII-314 p., append., index (Studi e Testi per la Storia della Tolleranza in Europa nei Secoli XVI-XVIII, 6).
- BEAUREPAIRE Pierre-Yves, *L'Espace des francs-maçons. Une sociabilité européenne au XVIII^e siècle*. Paris, Presses universitaires de Rennes, 2003. 15,3 × 24, 237 p., ill., fig., ann., index (Histoire).
- BELHOSTE Bruno, *La Formation d'une technocratie. L'École polytechnique et ses élèves de la Révolution au second Empire*. Paris, Belin, 2003. 16,5 × 24, 512 p., fig., tabl., bibliogr., index (Histoire de l'éducation).
- BEN HAMIDA Abdesslem, *Capitalisme et syndicalisme en Tunisie de 1924 à 1956*. Tunis, Université de Tunis, Faculté des sciences humaines et sociales, 2003. 15,5 × 23,5, 544 p., bibliogr., index (4^e sér., Histoire, vol. XXXVI).
- BERNAYS Paul, *Philosophie des mathématiques*. Introd. et trad. de Hourya BENIS SINACEUR. Paris, Vrin, 2003. 13,5 × 21,5, 239 p. (Mathesis).
- BLAY Michel, *La Science trahie. Pour une autre politique de la recherche*. Paris, Armand Colin, 2003. 13,8 × 22,5, 144 p.
- BLUM Alain, MESPOULET Martine, *L'Anarchie bureaucratique. Pouvoir et statistique sous Staline*. Paris, La Découverte, 2003. 13,5 × 22, 372 p., ann. (L'Espace de l'histoire).
- BOUCHER Gwenaëlle et TSIEN Jennifer, *La Poésie philosophique de Voltaire de Gwenaëlle BOUCHER, suivi de Voltaire and the temple of bad taste. A study of La Pucelle d'Orléans de Jennifer TSIEN*. Oxford, Voltaire Foundation, 2003. 15,5 × 24, v-422 p., bibliogr. (SVEC, 2003 : 05).
- BOUCHILLOUX Hélène, *La Question de la liberté chez Descartes. Libre arbitre, liberté et indifférence*. Paris, Honoré Champion, 2003. 15,5 × 22,5, 250 p., bibliogr., index (Travaux de la philosophie, 1).
- BOURDEAU Michel, BRAUNSTEIN Jean-François et PETIT Annie, dir., *Auguste Comte aujourd'hui*. Préc. de Michel HOUELLEBECQ, *Préliminaires au positivisme*. Actes du colloque de Cerisy, 3-10 juil. 2001. Paris, Kimé, 2003. 14,5 × 21, 326 p., index.
- BOUREL Dominique et MOTZKIN Gabriel, dir., *Les Voyages de l'intelligence. Passages des idées et des hommes. Europe, Palestine, Israël*. Paris, CNRS Éditions, 2002. 15,5 × 24, 336 p. (CRFJ, Mélanges du Centre de recherches français de Jérusalem, vol. IV).
- BRENNER Anastasios, *Les Origines françaises de la philosophie des sciences*. Paris, Presses universitaires de France, 2003. 15 × 21,8, VIII-227 p., bibliogr., index (Science, histoire et société).
- BRIAN Éric et DEMEULAERE-DOUYÈRE Christiane, dir., *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme. À l'occasion du troisième centenaire du règlement instituant l'Académie royale des sciences (26 janvier 1699)*. Actes du colloque inter-

- national organisé par l'Académie des sciences de l'Institut de France, avec le concours du Centre international de synthèse. Préf. par Guy OURISSON, introd. par Christiane DEMEULAERE-DOUYÈRE et Éric BRIAN. Londres-Paris-New York, Tec & Doc/Lavoisier, 2002. 15,5 × 24, xxviii-548 p., ill., graph., tabl., index.
- BROADIE Alexander, *The Scottish Enlightenment. The historical age of the historical nation*. Édimbourg, Birlinn, 2001. 14 × 21,5, xii-240 p., front., ill., bibliogr., index.
- CANFORA Luciano, *La Bibliothèque du patriarche. Photius censuré dans la France de Mazarin*. Trad. de l'italien par Luigi-Alberto SANCHI. Paris, Les Belles Lettres, 2003. 15 × 21,5, 315 p., index (L'Âne d'or).
- CARON François, *Le Puissant Royaume du Japon. La description de François Caron (1636)*. Introd., trad. et notes de Jacques et Marianne PROUST. Paris, Chandeigne, 2003. 15,8 × 22, 320 p., gloss., ill., bibliogr., index (Magellane).
- CASELLA Antonio et LUCCHINI Guido, *Graziadio e Moise' Ascoli Scienza, cultura e politica nell'Italia liberale*. Pavie, Università degli studi di Pavia, 2002. 17 × 24, iv-468 p., bibliogr. (Percorsi della fisica).
- CAVELL Stanley, *Un ton pour la philosophie. Moments d'une autobiographie*. Trad. de l'anglais (États-Unis) par Sandra LAUGIER et Élise DOMENACH. Paris, Bayard, 2003. 15 × 20,5, 249 p., bibliogr.
- CHALLE Robert, *Journal d'un voyage fait aux Indes orientales (du 24 février 1690 au 10 août 1691)*. Texte publié et commenté par Frédéric DELOFFRE et Jacques POPIN, nouv. éd. comment. T. I : *Février 1690-août 1690* ; t. II : *Août 1690-août 1691*. Paris, Mercure de France, 2002. 10,8 × 17,8, 621 p. et 574 p., gloss., bibliogr., index (Le Temps retrouvé).
- CHIHARA Charles S., *A structural account of mathematics*. Oxford, Clarendon Press, 2004. 16 × 24, xiv-380 p., bibliogr., index.
- CHRISTIN Olivier, *Les Yeux pour le croire. Les Dix Commandements en images (XV^e-XVI^e siècle)*. Paris, Seuil, 2003. 13,8 × 20,5, 160 p., ill., ann., bibliogr., index.
- CIARCIA Gaetano, *De la mémoire ethnographique. L'exotisme au pays Dogon*. Paris, Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 2003. 16 × 24, 197 p., ill. (Cahiers de l'Homme).
- COGITORE Isabelle, *La Légitimité dynastique d'Auguste à Néron à l'épreuve des conspirations*. Rome, École française de Rome, 2002. 16 × 24,5, viii-300 p., bibliogr., index (Bibliothèque des Écoles françaises d'Athènes et de Rome, 313).
- COHEN Claudine, *La Femme des origines. Images de la femme dans la préhistoire occidentale*. Paris, Belin-Herscher, 2003. 19,3 × 26, 192 p., ill., bibliogr., index.
- CONCHE Marcel, *Lucrèce et l'expérience*. Choix de textes. Québec, Fides, 2003. 15 × 23, 228 p., chronol., bibliogr., append. (Noësis).
- CUOCO Vincenzo, *Histoire de la Révolution de Naples. Ristampa anastatica della traduzione di Bertrand Barère (1807)*. A cura di Anna Maria RAO e Maité BOUYSSY. Naples, Vivarium-Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, 2001. 15 × 21, xxvi-417 p., front. (Libertà Eguaglianza, 8).
- DENOZ Laurence, *Entre Orient et Occident. Rôles de l'hellénisme et du pharaonisme dans l'œuvre de Tawfiq al-Hakim*. Liège/Genève, Bibliothèque de la faculté de philosophie et lettres de l'université de Liège/Diff. Droz, 2002. 16 × 24, 454 p.-20 p., bibliogr. (Bibliothèque de la faculté de philosophie et lettres de l'université de Liège, fasc. 282).
- DERRIDA Jacques, *Marx & Sons*. Paris, Presses universitaires de France/Galilée, 2002. 13,4 × 21,5, 96 p. (Actuel Marx Confrontation).

- DIDIER Hugues, *Fantômes d'Islam et de Chine. Le voyage de Bento de Góis, s. j. (1603-1607)*. Paris, Fundação Calouste Gulbenkian-Chandeigne, 2003. 13,8 × 20,5, 352 p., ill., bibliogr., index.
- DOSSE François, *Michel de Certeau. Le marcheur blessé*. Paris, La Découverte, 2002. 15,5 × 24, 657 p., index.
- DUFLO Colas, *Diderot philosophe*. Paris, Champion, 2003. 15,5 × 22,5, 544 p., bibliogr., index (Travaux de philosophie, 2).
- DULUCQ Sophie et ZYTNICKI Colette, dir., *Décoloniser l'histoire ? De « l'histoire coloniale » aux histoires nationales en Amérique latine et en Afrique (XIX^e-XX^e siècles)*. Saint-Denis, Société française d'histoire d'Outre-Mer, 2003. 15,5 × 24, 178 p., bibliogr.
- ENÇ Berent, *How we act. Causes, reasons and intentions*. Oxford, Clarendon Press, 2003. 14,5 × 22,2, XII-252 p., fig., bibliogr., index.
- ENFERT Renaud d', *L'Enseignement du dessin en France. Figure humaine et dessin géométrique (1750-1850)*. Paris, Belin, 2003. 17 × 24, 256 p., bibliogr., index (Histoire de l'éducation).
- FALGUIÈRES Patricia, *Les Chambres des merveilles*. Paris, Bayard, 2003. 12,3 × 17,7, 144 p., ill. (Le Rayon des curiosités).
- FLAMENT Dominique, *Histoire des nombres complexes. Entre algèbre et géométrie*. Paris, CNRS Éditions, 2003. 16,8 × 24, 503 p., fig., bibliogr., index (Histoire des sciences).
- FRANÇOIS Étienne, SCHULZE Hagen, hrsg., *Deutsche Erinnerungs-Orte*. III Bände. Vierte, durchgesehene Auflage. Munich, C. H. Beck, 2002. 17 × 24,4, Bd. I : 728 p, Bd. II : 743 p., Bd. III : 784 p., ill., index.
- FRÉMONT Christiane, *Singularités, individus et relations dans le système de Leibniz*. Paris, Vrin, 2003. 16 × 24, 383 p., bibliogr., index (Philologie et Mercure).
- GARRAUD Vincent et CHAUVIER Stéphane, dir., *Le Réalisme des universaux*. Caen, Presses universitaires de Caen, 2003. 14 × 22, 335 p. (Cahiers de philosophie de l'université de Caen, 38-39).
- GINZBURG Carlo, *Rapports de force. Histoire, rhétorique, preuve*. Trad. de l'italien par Jean-Pierre BARDOS. Paris, Gallimard-Seuil, 2003. 15,2 × 24, 128 p., ill., index (Hautes Études).
- GODIN Christian, *La Fin de l'humanité*. Seyssels, Champ Vallon, 2003. 14 × 20, 240 p.
- GRIMOULT Cédric, *Histoire de l'histoire des sciences. Historiographie de l'évolutionnisme dans le monde francophone*. Genève, Droz, 2003. 15,2 × 22,2, 311 p., ann., bibliogr., index.
- GROULT Martine, dir., *L'Encyclopédie ou la création des disciplines*. Paris, CNRS Éditions, 2003. 16,8 × 23,8, 346 p., front., ill., bibliogr., index.
- GUILHAUMOU Jacques et MONNIER Raymond, dir., *Des notions-concepts en révolution. Autour de la liberté politique à la fin du XVIII^e siècle*. Préf. de Raymonde MONNIER. Journée d'études du 23 novembre 2002 à la Sorbonne, Paris, Société des études robespierristes, 2003. 15,5 × 24, 196 p., bibliogr., index (Études révolutionnaires, 4).
- HOFMANN Hasso, *Repräsentation. Studien zur Wort- und Begriffsgeschichte von der Antike bis ins 19. Jahrhundert*. Vierte Aufl., mit einer neuen Einleitung. Berlin, Duncker & Humblot, 2003. 15,5 × 23,3, VIII-484 p., index (Schriften zur Verfassungsgeschichte, Bd. XXII).
- HURSON Didier, *Alexander Mitscherlich, 1908-1982. Psychanalyse, société et histoire*. Paris, Presses de l'université de Paris-Sorbonne, 2002. 16 × 24, 264 p., bibliogr., index (Monde germanique. Histoires et cultures).
- JAISSON Marie, *Fondations, prix et subventions de l'Académie des sciences (1916-1996)*. T. I : *Répertoire A-L* ; t. II : *Répertoire M-Z. Index*. Turnhout, Brepols, 2003. 16 × 24,5, 1363 p., annexe (De diversis artibus, t. 66-1 et t. 66-2, nouv. sér. 29-1 et 29-2).
- JAVARY Cyrille J.-D., *Le Discours de la tortue. Découvrir la pensée chinoise au fil*

- du *Yi Jing*. Paris, Albin Michel, 2003. 14,5 × 21, 672 p., fig., ill., bibliogr., index.
- JOLLET Anne, *Terre et société en Révolution. Approche du lien social dans la région d'Amboise*. Préf. de Michel VOVELLE. Paris, CTHS, 2000. 16 × 24, 551 p., bibliogr.
- KIM Mi Gyung, *Affinity, that elusive dream. A genealogy of the chemical revolution*. Cambridge, MA-Londres, MIT Press, 2003. 16 × 23,5, 599 p., append., bibliogr., index.
- LACOSTE Yves, *De la géopolitique aux paysages. Dictionnaire de la géographie*. Paris, Armand Colin, 2003. 16 × 24, 416 p., ill., cartogr.
- LARUELLE François, *L'Ultime Honneur des intellectuels*. Entretien mené par Philippe PETIT. Paris, Textuel, 2003. 11,3 × 21, 160 p.
- LAUDOU Christophe, *L'Esprit des systèmes. L'idéalisme allemand et la question du savoir absolu*. Paris, L'Harmattan, 2003. 13,3 × 21,5, 317 p., bibliogr., index (Ouverture philosophique).
- LE BÉGUEC Gilles, *La République des avocats*. Conseiller éditorial : Pascal CAUCHY. Paris, Armand Colin-VUEF, 2003. 15 × 21, 234 p., bibliogr. (L'Histoire au présent).
- LIGNEREUX Yann, *Lyon et le roi. De la « bonne ville » à l'absolutisme municipal (1594-1654)*. Préf. de Denis CROUZET. Seyssel, Champ Vallon, 2003. 15,5 × 24, 865 p., ill., bibliogr., chronol. (Époques).
- LOUX Michael J. et ZIMMERMAN Dean W., éd., *The Oxford handbook of metaphysics*. Oxford, Oxford University Press, 2003. 18 × 25,2, xi-724 p., index.
- MANDRESSI Rafael, *Le Regard de l'anatomiste. Dissections et invention du corps en Occident*. Paris, Seuil, 2003. 14 × 20,5, 343 p., index (L'Univers historique).
- MERLIN-KAJMAN Hélène, *La Langue est-elle fasciste ? Langue, pouvoir, enseignement*. Paris, Seuil, 2003. 14 × 20,5, 416 p., bibliogr., index (La Couleur des idées).
- MERSENNE Marin, *Traité de l'harmonie universelle*. Paris, Fayard, 2003. 14 × 22, 456 p., front., fig., ill., tabl. (Corpus des œuvres de philosophie en langue française).
- MOLNAR George, *Powers. A study in metaphysics*. Ed. with an introd. by Stephen MUMFORD and a foreword by D. M. ARMSTRONG. Oxford, Oxford University Press, 2003. 14,5 × 22,2, xiv-238 p., bibliogr., index.
- MONDZAIN Marie-José, *Le Commerce des regards*. Paris, Seuil, 2003. 14 × 20,5, 267 p., front., ann. (L'Ordre philosophique).
- NADLER Steven, *Spinoza's heresy. Immortality and the Jewish mind*. 2^e éd. Oxford, Clarendon Press, 2002. 14,5 × 22,3, xvi-225 p., bibliogr., index.
- NICHOLS Shaun et STICH Stephen P., *Mind-reading. An integrated account of pretence, self-awareness, and understanding other minds*. Oxford, Clarendon Press, 2003. 15,5 × 23,3, 237 p., bibliogr., index (Oxford Cognitive Science Series).
- OBISSIER Patrick, *Décodage biologique et destin familial. Changer de regard sur la maladie*. Préf. de Christian FLÈCHE. Barret-sur-Méouge, Le Souffle d'Or, 2003. 15 × 21, 191 p., bibliogr.
- PAXMAN David B., *Voyage into language. Space and the linguistic encounter, 1500-1800*. Aldershot, Ashgate, 2003. 15,7 × 22,5, 273 p., fig., ill., bibliogr., index.
- PEIRCE Charles Sanders, *Œuvres philosophiques*. Vol. II : *Pragmatisme et sciences normatives*. Éd. établie par Claudine TIERCELIN et Pierre THIBAUD. Trad. de l'anglais (États-Unis) par Claudine TIERCELIN, Pierre THIBAUD et Jean-Pierre COMETTI. Paris, Cerf, 2003. 15 × 24, 344 p. (Passages).
- PELLETIER Jérôme et PROUST Joëlle, dir., *La Normativité*. Caen, Presses universitaires de Caen, 2001. 14 × 22, 134 p., CD-Rom (Cahiers de philosophie de l'université de Caen, 37).
- PETIT Annie, dir., *Auguste Comte. Trajectoires positivistes, 1798-1998*. Présentation

- par Annie PETIT. Paris, L'Harmattan, 2003. 16 × 24, 439 p., index (Épistémologie et philosophie des sciences).
- PÉTRARQUE, *Lettres de la vieillesse*. T. II : *Livres IV-VII/Rerum senilium, Libri IV-VII*. Sous la dir. de Pierre LAURENS. Éd. critique d'Elvira NOTA, trad. de Frédérique CASTELLI, François FABRE, Antoine DE ROSNY et Laure SCHEBAT, présentation, notices et notes d'Ugo DOTTI, mises en français par Franck LA BRASCA. Paris, Les Belles Lettres, 2003. 14,5 × 22,6, 607 p., append., comment., index (Les Classiques de l'humanisme).
- PICCOLINO Marco et BRESADOLA Marco, *Rane, torpedini e scintille. Galvani, Volta e l'elettricità animale*. Turin, Boringhieri, 2003. 14,7 × 22, 723 p., front., bibliogr., index (Saggi Scienze).
- POTT Sandra, *Reformierte Morallehren und deutsche Literatur von Jean Barbeyrac bis Christoph Martin Wieland*. Tübingen, Max Niemeyer, 2002. 16 × 23,7, vii-308 p., bibliogr., index.
- PRIOR Arthur N., *Papers on time and tense*. New ed. by Per HASLE, Peter ØHRSTROM, Torben BRÄUNER and Jack COPELAND. Oxford, Oxford University Press, 2003. 14,3 × 22, ix-331 p., append., bibliogr., index.
- RAYNAUD Dominique, *Sociologie des controverses scientifiques*. Paris, Presses universitaires de France, 2003. 15 × 21,7, xi-225 p., fig., ill., tabl., bibliogr., index (Sociologies).
- REVAH I. S., *Antonio Enríquez Gómez. Un écrivain marrane (v. 1600-1663)*. Éd. établie, présentée et annotée par Carsten Lorenz WILKE. Préf. de Gérard NAHON. Trad. des sources espagnoles par Michèle ESCAMILLA-COLIN et Béatrice PEREZ. Paris, Chandeigne, 2003. 14 × 20,5, 688 p., ann., bibliogr. (Péninsules).
- RIVIÈRE Yann, *Les Délateurs sous l'Empire romain*. Rome, École française de Rome, 2002. 16 × 24,5, 604 p., ann., bibliogr., index.
- ROCHE Daniel, *Humeurs vagabondes. De la circulation des hommes et de l'utilité des voyages*. Paris, Fayard, 2003. 15,3 × 23,3, 1032 p., ill.
- ROESSLER Johannes et EILAN Naomi, éd., *Agency and self-awareness. Issues in philosophy and psychology*. Oxford, Clarendon Press, 2003. 15,5 × 23,4, xi-415 p., index.
- RUBEN David-Hillel, *Action and its explanation*. Oxford, Clarendon Press, 2003. 16 × 24, vii-240 p., append., bibliogr., index.
- SALES Véronique, dir., *Les Historiens*. Av-pr. de Véronique SALES. Paris, Armand Colin, 2003. 15,7 × 24, 352 p.
- SARMANT Thierry, *Les Demeures du soleil. Louis XIV, Louvois et la surintendance des bâtiments du roi*. Préf. de Bruno NEVEU. Seyssel, Champ Vallon, 2003. 15,5 × 24, 399 p., ill., ann., bibliogr., index (Époques).
- SCHAPIRA Nicolas, *Un professionnel des lettres au XVII^e siècle. Valentin Conrart : une histoire sociale*. Seyssel, Champ Vallon, 2003. 15,4 × 24, 512 p., front., ill., bibliogr., ann., index (Époques).
- SHOEMAKER Sydney, *Identity, cause, and mind. Philosophical essays*. Expanded edition. Oxford, Clarendon Press, 2003. 16 × 24, xii-461 p., bibliogr., index.
- SIBEUD Emmanuelle, *Une science impériale pour l'Afrique ? La construction des savoirs africanistes en France, 1878-1930*. Paris, Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 2002. 15 × 22,5, 358 p., ill., tabl., biogr., bibliogr., index (Recherches d'histoire et de sciences sociales/ Studies in History and the Social Sciences, 97).
- SIMON Gérard, *Archéologie de la vision. L'optique, le corps, la peinture*. Paris, Seuil, 2003. 14 × 20,5, 298 p., ill., bibliogr., index (Des travaux).
- SKINNER Quentin, *L'Artiste en philosophe politique. Ambrogio Lorenzetti et le bon gouvernement*. Trad. de l'anglais par Rosine CHRISTIN. Paris, Raisons d'agir, 2003. 11,5 × 17,5, 189 p., ill., index (Cours et travaux).

- SMITH Quentin et JOKIC Aleksandar, éd., *Consciousness*. New philosophical perspectives. Oxford, Clarendon Press, 2003. 16 × 24, XII-532 p., fig., index.
- STALNAKER Robert C., *Ways a world might be. Metaphysical and anti-metaphysical essays*. Oxford, Clarendon Press, 2003. 16 × 24, IX-187 p., bibliogr., index.
- STAQUET Anne, *L'Utopie ou les fictions subversives*. Zurich-Québec, Les Éditions du Grand Midi, 2003. 14 × 21, 182 p.
- SVENDSEN Lars Fr. H., *Petite philosophie de l'ennui*. Trad. du norvégien par Hélène HERVIEU. Paris, Fayard, 2003. 12 × 18,5, 250 p., bibliogr., index.
- TEDESCHI John, éd., *The Correspondence of Roland H. Bainton and Delio Cantimori (1932-1966). An enduring transatlantic friendship between two historians of religious toleration*. Ed. by John TEDESCHI with an appendix of documents. Florence, Leo S. Olschki, 2002. 14,5 × 21,8, XII-314 p., fig., add., append. (Studi e Testi per la Storia della Tolleranza in Europa nei Secoli XVI-XVIII, vol. VI).
- TERRAY Aude, *Des francs-tireurs aux experts. L'organisation de la prévision économique au ministère des finances, 1948-1968*. Préf. de Patrick FRIDENSON. Paris, Comité pour l'histoire économique et financière de la France 2002. 16 × 22, XVIII-685 p., bibliogr., ann., tabl., index.
- TOLAND John, *La Constitution primitive de l'Église chrétienne. The primitive constitution of the Christian Church*. Texte anglais et trad. manuscrite précédés de l'*Ecclésiologie* de John TOLAND par Laurent JAFFRO. Paris, Honoré Champion, 2003. 15,5 × 22,5, 272 p., append., index (Libre pensée et littérature clandestine, 14).
- TORJANO Pablo A., *Solomon, the esoteric king. From king to magus, development of a tradition*. Leyde-Boston-Cologne, Brill, 2002. 16 × 24,5, XIV-334 p., append., bibliogr. (Supplements to the Journal for the Study of Judaism, vol. LXXIII).
- TUNCA Öhnan et PIRENNE-DELFORGE Vinciane, éd., *Représentations du temps dans les religions*. Actes du colloque organisé par le centre d'Histoire des Religions de l'université de Liège. Genève, Droz, 2003. 16 × 24, 267 p., (Bibliothèque de la faculté de philosophie et lettres de l'université de Liège, fasc. 286).
- VOEGELIN Éric, *Hitler et les Allemands*. Trad. franç. par Mira KÖLLER et Dominique SÉGLARD. Av.-pr. de Tilo SCHABERT. Paris, Seuil, 2003. 18 × 25,8, 347 p., append. (Traces écrites).
- VOLTAIRE, *Les Œuvres complètes de Voltaire*. 30 A : 1746-1748, I. Dir. par Nicholas CRONK. Oxford, Voltaire Foundation, 2003. 15,5 × 23, XXI-510 p., index (The Complete Works of Voltaire, 30 A).
- WASZEK Norbert, *L'Écosse des Lumières. Hume, Smith, Ferguson*. Paris, Presses universitaires de France, 2003. 11,4 × 17,5, 128 p., bibliogr. (Philosophies).
- WOLLSTONECRAFT Mary, *Une Anglaise défend la Révolution française. Réponse à Edmund Burke*. Trad. de l'anglais et introd. par Marie-Odile BERNEZ, notes établies par Marie-Odile BERNEZ et Marcel DORIGNY. Paris, Éd. du C.T.H.S., 2003. 12 × 18,5, 485 p.
- ZUPANCIC Alenka, *The Shortest Shadow. Nietzsche's philosophy of the two*. New York, NY, Zone Books, 2003. 13,5 × 20, VIII-193 p.

GÉOMÉTRIE ET COGNITION

Présentation :

Géométrie et cognition. Entre fondements des mathématiques, théorie de la connaissance et cognition/ <i>Geometry and cognition. Between the foundations of mathematics, theory of knowledge and cognition</i> , par Giuseppe LONGO	1
--	---

Articles :

<i>Towards a history of the geometric foundations of mathematics. Late XIXth century</i> /Pour une histoire des fondements géométriques des mathématiques. La fin du XIX ^e siècle, par Rossana TAZZIOLI	11
<i>Traces of a computational mind. From wax tablet to Turing machine</i> /Des traces de l'esprit de calcul. Des tablettes de cire à la machine de Turing, par Massimiliano Lorenzo CAPPUCCIO	43
Espace, temps et cognition. À partir des mathématiques et des sciences de la nature/ <i>Space, time and cognition. From mathematics and natural science</i> , par Francis BAILLY et Giuseppe LONGO	61
Langage et géométrie. L'expression langagière des relations spatiales/ <i>Language and geometry. Linguistic expression of spatial relations</i> , par Bernard VICTORRI	119
La spatialité originaire du corps propre. Phénoménologie et neurosciences/ <i>The original spaciality of the body itself. Phenomenology and neurosciences</i> , par Jean-Luc PETIT	139
<i>The intuitions of higher dimensional algebra for the study of structured space</i> /Les intuitions d'algèbres de plus hautes dimensions dans l'étude des espaces structurés, par Ronald BROWN et Timothy PORTER	173
Une vie de cellule. Forme et espace/ <i>A cellular life. Form and space</i> , par René MISSLIN	205
La genèse des concepts mathématiques. Entre sciences de la cognition et sciences de la culture/ <i>The genesis of mathematical concepts. Between cognitive sciences and cultural sciences</i> , par Jean LASSÈGUE	223

Varia :

L'anthropologie des animaux. Éthologie animale et savoirs anthropologiques dans l'œuvre de Charles-Georges Le Roy (1684-1753)/ <i>The anthropology of animals. Animal ethnology and anthropological knowledge in the work of Charles-Georges Le Roy (1684-1753)</i> , par Wiktor STOCZKOWSKI	237
--	-----

Revue critique :

La trame de la logique floue et l'usure du temps, par Caroline EHRHARDT	261
---	-----

Comptes rendus :

Mathématiques	271
Histoire des sciences	285
Philosophie	304
Cognition	320
<i>Ouvrages reçus</i>	333
<i>Tables du tome 124, année 2003</i>	341

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS DE L'ANNÉE 2003

BAILLY (Francis) et LONGO (Giuseppe). — Espace, temps et cognition. À partir des mathématiques et des sciences de la nature/ <i>Space, time and cognition. From mathematics and natural science</i>	61
BROWN (Ronald) et PORTER (Timothy). — <i>The intuitions of higher dimensional algebra for the study of structured space</i> /Les intuitions d'algèbres de plus hautes dimensions dans l'étude des espaces structurés	173
CAPPUCCIO (Massimiliano Lorenzo). — <i>Traces of a computational mind. From wax tablet to Turing machine</i> /Des traces de l'esprit de calcul. Des tablettes de cire à la machine de Turing	43
EHRHARDT (Caroline). — La trame de la logique floue et l'usure du temps	261
LASSÈGUE (Jean). — La genèse des concepts mathématiques. Entre sciences de la cognition et sciences de la culture/ <i>The genesis of mathematical concepts. Between cognitive sciences and cultural sciences</i>	223
LONGO (Giuseppe). — Géométrie et cognition. Entre fondements des mathématiques, théorie de la connaissance et cognition/ <i>Geometry and cognition. Between the foundations of mathematics, theory of knowledge and cognition</i>	1
MISSLIN (René). — Une vie de cellule. Forme et espace/ <i>A cellular life. Form and space</i>	205
PETIT (Jean-Luc). — La spatialité originaire du corps propre. Phénoménologie et neurosciences/ <i>The original spaciality of the body itself. Phenomenology and neurosciences</i>	139
STOCZKOWSKI (Wiktor). — L'anthropologie des animaux. Éthologie animale et savoirs anthropologiques dans l'œuvre de Charles-Georges Le Roy (1684-1753)/ <i>The anthropology of animals. Animal ethnology and anthropological knowledge in the work of Charles-Georges Le Roy (1684-1753)</i>	237
TAZZIOLI (Rossana). — <i>Towards a history of the geometric foundations of mathematics. Late XIXth century</i> /Pour une histoire des fondements géométriques des mathématiques. La fin du XIX ^e siècle	11

- VICTORRI (Bernard). — Langage et géométrie. L'expression langagière des relations spatiales/*Language and geometry. Linguistic expression of spatial relations* 119
- Comptes rendus par* ANHEIM (Étienne), BINOCHÉ (Bertrand), BONTEMS (Vincent), BUCHÉNEAU (Stéphanie), COMINOTTI (Nicolas), DELECROIX (Vincent), DOLISI (Vincent), DUTANT (Julien), GINISTI (Jean-Pierre), GONZALEZ (Solange), LAVAL (Christian), LÜTHY (Christoph), NICOLLE (Jean-Marie), ROHRBASSER (Jean-Marc), TRICLOT (Mathieu) 271

TABLE ALPHABÉTIQUE DES OUVRAGES ANALYSÉS DE L'ANNÉE 2003

<i>Dans quelle mesure la philosophie est pratique. Fichte, Hegel.</i> Sous la dir. de Myriam BIENENSTOCK et Michèle CRAMPE-CASNABET, avec la collab. de Jean-François GOUBET (S. Buchenau)	304
<i>Systèmes de pensée précartésiens.</i> Études d'après le colloque international organisé à Haïfa en 1994, réunies par Ilana ZINGUER et Heinz SCHOTT (C. Lüthy)	291
APEL (Karl-Otto). — <i>La Controverse expliquer-comprendre. Une approche pragmatique-transcendantale.</i> Trad. de l'allemand par Sylvie MESURE (N. Cominotti)	317
BELNA (Jean-Pierre). — <i>Cantor</i> (V. Dolisi)	283
BERLIOZ (Dominique). — <i>Berkeley. Un nominalisme réaliste</i> (J.-M. Rohrbasser)	281
BOURDEAU (Michel). — « <i>Locus logicus</i> ». <i>L'ontologie catégoriale dans la philosophie contemporaine</i> (J.-P. Ginisti)	329
BOUREAU (Alain). — <i>Théologie, science et censure au XIII^e siècle. Le cas de Jean Peckham</i> (É. Anheim)	285
CANGUILHEM (Georges). — <i>Écrits sur la médecine.</i> Av.-pr. d'Armand ZALOSZYC (V. Bontems)	300
CHAZAL (Gérard). — <i>Les Réseaux du sens. De l'informatique aux neurosciences</i> (M. Triclot)	323
CLÉRO (Jean-Pierre). — <i>Théorie de la perception. De l'espace à l'émotion</i> (C. Laval)	320
COUNET (Jean-Michel). — <i>Mathématiques et dialectique chez Nicolas de Cuse</i> (J.-M. Nicolle)	277
DASTON (Lorraine), dir. — <i>Biographies of scientific objects</i> (V. Bontems)	297
DESCHÈNES (Jean-Guy). — <i>Le Concept de fondement ou les confessions d'un hypocrite. Réflexions à la manière de Kierkegaard à partir du Concept d'angoisse</i> (V. Delecroix)	307
FROGNEUX (Nathalie). — <i>Hans Jonas ou la vie dans le monde.</i> Préf. de Jean GREISCH (V. Bontems)	313

HONG (Edna H.) et HONG (Howard V.), éd. — <i>The Essential Kierkegaard</i> (V. Delecroix)	310
IMBERT (Claude). — <i>Pour une histoire de la logique. Un héritage platonicien</i> (J. Dutant)	274
JONAS (Hans). — <i>Le Phénomène de la vie. Vers une biologie philosophique</i> . Trad. de l'anglais par Danielle LORIES (V. Bontems)	313
PARROCHIA (Daniel), dir. — <i>Penser les réseaux</i> . (M. Triclot)	326
RANDLES (William Graham Lister). — <i>The Unmaking of the medieval Christian cosmos, 1500-1760. From solid heavens to boundless aether</i> (S. Gonzalez)	289
ROSENTAL (Claude). — <i>La Trame de l'évidence. Sociologie de la démonstration en logique</i> (C. Ehrhardt)	261
SCHANDELER (Jean-Pierre). — <i>Les Interprétations de Condorcet. Symboles et concepts (1794-1894)</i> (B. Binoche)	293
VUILLEMIN (Jules). — <i>Mathématiques pythagoriciennes et platoniciennes</i> . Prés. Roshdi RASHED (J.-M. Rohrbasser)	271

166
avril/juin
2003

L' H O M M E

Revue française d'anthropologie

Malinowski, Faulkner

Bertrand Pulman La liberté sexuelle des Trobriandais

Aude Lalande L'impossible de la fondation au Yoknapatawpha

Culture et cognition

Scott Atran Théorie cognitive de la culture

Stéphane Vibert La Russie, le temps et l'espace

Souvenir et héritage

Jean-Claude Muller L'héritage de la veuve
de l'oncle maternel chez les Dïl du Cameroun

Josiane Massard-Vincent Armistice
et localité en Angleterre



Gaetano Ciarcia Le goût de la croyance

Jean-Pierre Digard Tribus, maisons, États

Sophie Houdart Quand la culture prend formes

Jacques Galinier Au commencement était la culture

Dominique Casajus Variations sahéliennes sur l'inceste

G. Laferté & N. Renahy "Campagnes de tous nos désirs"...
d'ethnologues

A. Micoud, L. Bérard, P. Marchenay, M. Rautenberg Et si
nous prenions nos désirs en compte

REVUE TRIMESTRIELLE PUBLIÉE
PAR LES ÉDITIONS DE L'ÉCOLE
DES HAUTES ÉTUDES EN
SCIENCES SOCIALES
DIFFUSION Éditions du Seuil
VENTE au numéro en librairie 18 €
RÉDACTION Laboratoire d'anthro-
pologie sociale, 52 rue du Cardinal
Lemoine, 75005 Paris
Tél. (33) 01 44 27 17 34
Fax (33) 01 44 27 17 66
e-mail L.Homme@ehess.fr

POPULATION

VOLUME 58 – N° 1, 2003
ÉDITION FRANÇAISE

SOMMAIRE

. C. Bonvalet

La famille-entourage locale

. E. Barbi, G. Caselli, J. Vallin

Hétérogénéité des générations et âge extrême de la vie

. T. Engelen, J. Kok

Célibat définitif et mariage tardif aux Pays-Bas, 1890-1960

. P.-A. Rosental

La nouveauté d'un genre ancien : Louis Henry et la fondation de la démographie historique

Note de recherche

. K. Hank, H.-P. Kohler

Les préférences relatives au sexe des enfants : de nouvelles données allemandes

Bibliographie critique

Depuis 2002, les 5 livraisons annuelles de *Population* sont disponibles en français et en anglais. Veuillez à bien préciser l'édition choisie lors de votre commande

Vente au numéro	France	Étranger
• Population – Édition française	20,00 €	22,00 €
• Population – English Edition	20,00 €	22,00 €
Abonnement d'un an (5 livraisons par an)	France	Étranger
• Population – Édition française	75,00 €	82,00 €
• Population – English Edition	75,00 €	82,00 €

INSTITUT NATIONAL D'ÉTUDES DÉMOGRAPHIQUES

133, boulevard Davout, 75980 PARIS Cedex 20 France – Tél. : 33 (0)1 56 06 20 00 – Fax : 33 (0)1 56 06 22 37

Revue française de sociologie

publiée avec le concours du
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et de l'INSTITUT DE RECHERCHE SUR LES SOCIÉTÉS CONTEMPORAINES

59-61, rue Pouchet 75849 Paris Cedex 17 – Tél. : 01 40 25 11 87 ou 88

AVRIL-JUIN 2003, 44-2

ISBN 2-7080-1053-0

La théorie du choix rationnel Les *Foundations of social theory* de James S. Coleman en débat

**Études réunies
par Alban Bouvier et Philippe Steiner**

Les <i>Foundations</i> : une introduction	Philippe STEINER
Les transitions micro-macro	Mohamed CHERKAOUI
<i>Rational choice and narrative action theories</i>	Peter ABELL
La pièce manquante de la sociologie du choix rationnel	Olivier FAVEREAU
<i>Coleman on social norms</i>	Jon ELSTER
Rationalité, discipline sociale et structure	Emmanuel LAZEGA
Coleman est-il trop parcimonieux ?	Alban BOUVIER
Rationalité sociale et construction des institutions	Siegwart LINDENBERG
Le pouvoir chez Coleman	Steven LUKES

TÉMOIGNAGE

Coleman et la théorie du choix rationnel Raymond BOUDON

Abonnements / Subscriptions :

L'ordre et le paiement sont à adresser directement à :

Please send order and payment to:

Éditions OPHRYS BP 87 05003 GAP cedex France

04 92 53 85 72

France :

Particuliers : 70 € (4 numéros trimestriels)

Institutions : 80 € (4 numéros trimestriels)

Institutions : 100 € (4 numéros trimestriels + supplément en anglais)

Étudiants : 52 € (4 numéros trimestriels)

Étranger/Abroad :

100 € (4 numéros + supplément en anglais/

four quarterly issues + the English selection)

Vente au numéro / Single issue

Le numéro trimestriel / *for each quarterly issue* : 22 €

La sélection anglaise / *for the English selection* : 30 €

La crise de la substance et de la causalité

Des petits écarts cartésiens au grand écart occasionniste

Véronique Le Ru



Descartes a écrit le *Monde ou Traité de la Lumière* dont la deuxième partie s'intitule *L'Homme*, il n'a jamais écrit de « *Traité de l'Homme* ». L'unité structurelle du traité de 1633 s'opère par le schème de la flamme qui se rapporte aussi bien au premier élément - le Feu - qu'au cœur, organe de fermentation ou de feu sans lumière. Lire Descartes par le biais essentiel de la flamme et de la lumière, tel est le propos de cet ouvrage. La lumière est-elle mouvement, action ou inclination à se mouvoir ? L'hésitation cartésienne engendre un questionnement sur la force mouvante. Si le mouvement n'est qu'un mode du corps mù, d'où vient la force mouvante ? Quel est son support substantiel ? Et qu'appelle-t-on substance ?

Le problème de la force mouvante redouble quand on le rapporte à l'interaction de l'esprit et du corps. L'esprit est-il la cause des mouvements dits volontaires du corps ? Le corps est-il la cause de ce que sent l'esprit ? Descartes répond que l'esprit est la cause déterminante et non efficiente des mouvements dits volontaires et que le corps *donne occasion* à l'esprit de sentir. Certains cartésiens vont plus loin : l'esprit n'est que la cause occasionnelle des mouvements volontaires et, réciproquement, le corps n'est que la cause occasionnelle de ce que sent l'esprit. Le corps et l'esprit ne sont que des occasions pour Dieu d'exercer sa puissance, cause totale et unique de tous les mouvements du corps et de toutes les impressions de l'esprit.

L'objet de ce livre est de montrer que Descartes a provoqué, par certains écarts conceptuels, une véritable crise de la causalité et de la substance, manifeste dans l'occasionalisme mais dont on voit encore les traces dans l'*Encyclopédie* de Diderot et de d'Alembert.

Collection CNRS Philosophie

17 x 24 - 224 p. - br. 24 €

Pour trouver et commander nos ouvrages :

LA LIBRAIRIE de CNRS ÉDITIONS, 151 bis, rue Saint-Jacques - 75005 PARIS

Tél. : 01 53 10 05 05 - Télécopie : 01 53 10 05 07 - Mèl : lib.cnrseditions@wanadoo.fr


Site Internet : www.cnrseditions.fr

Frais de port par ouvrage : France : 5 € - Etranger : 5,5 €

Pour plus de renseignements, n'hésitez pas à contacter

le Service clientèle de CNRS ÉDITIONS, 15, rue Malebranche - 75005 Paris

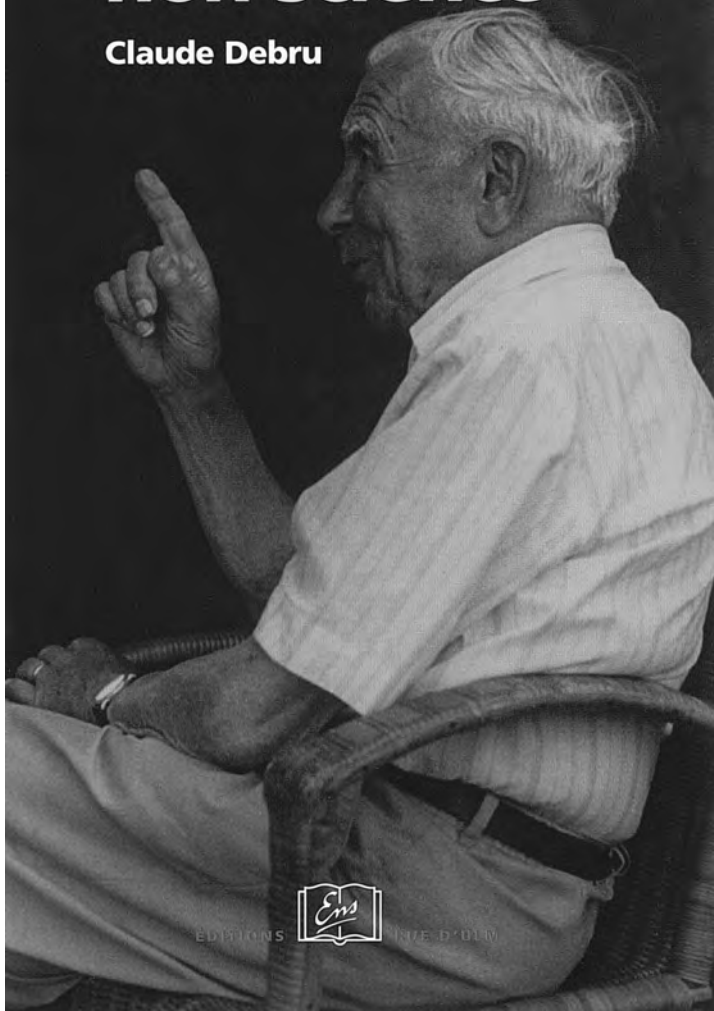
Tél. : 01 53 10 27 07/08 - Télécopie : 01 53 10 27 27 - Mèl : cnrseditions@cnrseditions.fr

 CNRS ÉDITIONS

un éditeur au service de l'édition scientifique

Georges Canguilhem, science et non-science

Claude Debru



ÉDITIONS  RUE D'ULM

Éditions Rue d'Ulm – ISBN 2-7288-0326-9 – 112 p. – 15 €

Revue de synthèse

Quatrième série

N ^{os} 1-2/1986	<i>Questions d'histoire intellectuelle</i>
N ^o 3/1986	<i>Histoire des idées et théorie de l'évolution</i>
N ^{os} 3-4/1987	<i>Périodisation en histoire des sciences et de la philosophie</i>
N ^o 1/1988	<i>Condorcet</i>
N ^o 2/1988	<i>Transferts culturels franco-allemands</i>
N ^{os} 3-4/1988	<i>Une histoire des sciences de l'homme ?</i>
N ^o 1/1989	<i>Réception et contresens</i>
N ^o 2/1989	<i>Moments de la pensée libérale</i>
N ^{os} 1-2/1990	<i>Sciences cognitives. Quelques aspects problématiques</i>
N ^{os} 3/1990	<i>La difficile institution de l'Europe</i>
N ^{os} 4/1990	<i>Traditions et sociétés</i>
N ^{os} 1/1991	<i>Auguste Comte. Politique et sciences</i>
N ^o 2/1991	<i>Du fait statistique au fait social</i>
N ^{os} 3-4/1991	<i>De l'État. Fondations juridiques, outils symboliques</i>
N ^{os} 1-2/1992	<i>Le commerce culturel des nations</i>
N ^{os} 3-4/1992	<i>Animalité et anthropomorphisme</i>
N ^{os} 1/1993	<i>Épistémologie de l'économie</i>
N ^{os} 2/1993	<i>Actualité de la métaphysique</i>
N ^{os} 1-2/1994	<i>La classification des sciences</i>
N ^{os} 3-4/1994	<i>Les territoires de la psychologie</i>
N ^{os} 2-3/1995	<i>John Toland (1670-1722) et la crise de conscience européenne</i>
N ^{os} 4/1995	<i>Puissance du langage et histoire</i>
N ^{os} 1-2/1996	<i>Henri Berr et la culture du xx^e siècle</i>
N ^{os} 3-4/1996	<i>Autobiographie et courants spirituels</i>
N ^o 1/1997	<i>Philosophie dans la France des Lumières</i>
N ^{os} 2-3/1997	<i>Théories de la Libre république</i>
N ^o 4/1997	<i>Éléments d'histoire des sciences sociales</i>
N ^o 1/1998	<i>Actualité et épistémologie</i>
N ^{os} 2-3/1998	<i>Histoire du scepticisme</i>
N ^o 4/1998	<i>Mathématiques à l'épreuve de l'écriture</i>
N ^o 1/1999	<i>Pensée des sciences</i>
N ^{os} 2-3/1999	<i>Les Jésuites dans le monde moderne</i>
N ^o 4/1999	<i>L'inscription de la nature</i>
N ^{os} 1-2/2000	<i>Histoire des sciences économiques</i>
N ^{os} 3-4/2000	<i>Anthropologies. États et populations</i>
N ^o 1/2001	<i>Objets d'échelles</i>
N ^{os} 2-3-4/2001	<i>Histoire des jeux, jeux de l'histoire. Journées Coumet</i>

Diffusion : Éditions Albin Michel, 22 rue Huyghens, F-75014 Paris

Cinquième série

N ^o 2002	<i>Circulation et cosmopolitisme en Europe</i>
---------------------	--

Diffusion : Éditions Rue d'Ulm, 45 rue d'Ulm, F-75005 Paris

Instructions aux auteurs

Il est demandé aux auteurs de respecter les règles suivantes :

1. la *Revue de synthèse* n'accepte que les **travaux originaux et inédits** ; chaque texte proposé est soumis à deux rapporteurs au minimum ; la rédaction se réserve le droit d'apporter toute correction concernant la forme ; les corrections d'auteurs ne sont pas acceptées sur les épreuves ;
2. chaque article doit être accompagné de son **résumé** en français, en anglais et en allemand, d'une dizaine de lignes, précédé de son titre, et suivi de quatre ou cinq **mots-clés** dans ces trois langues ;
3. tout manuscrit doit être remis en **double exemplaire** papier et être accompagné de sa disquette (fichier word ou rtf). Le texte devra être codé le moins possible informatiquement (l'usage des styles et des niveaux de titre est à exclure). L'ensemble du manuscrit doit être présenté en **double interligne**. Les comptes rendus de lecture ne doivent **pas** comporter de **notes ni dépasser 10 000 signes**. Lors de leur première mention dans le texte, écrire **en entier** les **prénoms** de toutes les personnes citées. Chaque page imprimée de la revue contient environ 2 880 signes pour les articles et 3 670 signes pour les comptes rendus ;
4. les notes doivent être de bas de page, automatiques et de section : lors de la création du premier **appel de note**, cliquer « insertion » puis « note » ; une fois la boîte de dialogue ouverte, choisir « note de bas de page », puis « numérotation automatique » et, enfin, en option, « recommencer à chaque section ». Dans le texte, chaque appel de note doit être précédé d'un espace insécable et placé avant la ponctuation ;
5. les **références bibliographiques**, strictement utiles à la construction de l'article, seront rassemblées dans une **liste des références**, classées par ordre alphabétique d'auteurs (nom + prénom en entier), suivis dans l'ordre de : date de publication, titre (ital.), ville, éditeur, pages, pour un ouvrage, ou de : date de publication, titre (entre guillemets), nom du périodique (ital.), tome (en romains), numéro (en ital.) et pages, pour un article. On les mentionnera ensuite dans les **notes de bas de page** par le nom + l'année + numéro(s) de page(s) éventuel(s). Chaque élément de référence doit être uniquement séparé par une virgule ;
6. **citations à l'intérieur du texte** : au-delà de trois lignes, les composer dans un paragraphe indépendant ;
7. **dernière page du texte** : doit comporter le prénom, le nom de l'auteur et la date de rédaction (mois et année) ;
8. chaque auteur fournira une **notice bio-bibliographique** de quelques lignes, son adresse personnelle et institutionnelle, ses numéros de téléphone et de fax, son courrier électronique.