



Une passion pour les interfaces. Interactions, intersections, interdisciplinarités

Emanuel Bertrand

► To cite this version:

Emanuel Bertrand. Une passion pour les interfaces. Interactions, intersections, interdisciplinarités. Histoire, Philosophie et Sociologie des sciences. Université Paris Cité, 2023. tel-04240348

HAL Id: tel-04240348

<https://shs.hal.science/tel-04240348>

Submitted on 13 Oct 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Faculté **Sociétés et Humanités**
Institut Humanités, Sciences et Sociétés

Habilitation à diriger des recherches

Spécialité : Épistémologie, histoire des sciences et des techniques

Emanuel BERTRAND

Mémoire de synthèse des travaux de recherche

UNE PASSION POUR LES INTERFACES. INTERACTIONS, INTERSECTIONS, INTERDISCIPLINARITÉS

Soutenue le **11 octobre 2023** devant le jury composé de :

M. David AUBIN	Professeur à Sorbonne Université, rapporteur
Mme Bernadette BENS AUDE-VINCENT	Professeure à l'Université Paris 1, rapportrice
Mme Soraya BOUDIA	Professeure à l'Université Paris Cité, présidente
M. Olivier DARRIGOL	Directeur de recherches au CNRS, garant
M. Peter GALISON	Professeur à Harvard University, examinateur
M. David RABOUIN	Directeur de recherches au CNRS, rapporteur
Mme Nathalie RICHARD	Professeure à Le Mans Université, examinatrice

À Axel, Samuel et Léïa

À la mémoire de Jean-Louis Murat (1952-2023)

“What year is this?”

(Dale Cooper, personnage incarné par l’acteur Kyle MacLachlan, dans la série de David Lynch, *Twin Peaks*, saison 3, partie 18, 2017)

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	7
INTRODUCTION. LA PASSION DES INTERFACES OU LES AFFRES DE L'ECLECTISME (1984-1997).....	11
I. LA PHYSIQUE DES INTERACTIONS ENTRE INTERFACES. L'AIMER, LA QUITTER (1997-2009).....	17
1. ESSAI DE VULGARISATION DE LA PHYSIQUE DES INTERACTIONS ENTRE INTERFACES.....	17
2. INTERACTIONS ENTRE INTERFACES INERTES SIMPLES.....	22
3. INTERACTIONS ENTRE INTERFACES PLUS COMPLEXES.....	35
4. BILAN DE TREIZE ANNEES DE RECHERCHE EN PHYSIQUE ET NAISSANCE D'UNE INSATISFACTION	41
II. À LA CROISEE DES CHEMINS, L'HISTOIRE DES SCIENCES. INTERSECTIONS ET TRAHISONS (2009-2014).....	43
1. À L'INTERSECTION DES CHEMINS, UNE AUBERGE HOSPITALIERE.....	43
2. TRAHISONS : RENEGAT POUR LES UNS, ILLEGITIME POUR LES AUTRES	47
3. UNE NOUVELLE IMPASSE ?	50
III. ENSEIGNER POUR TOUJOURS DOUTER. DE L'ENSEIGNEMENT DE LA THERMODYNAMIQUE ET DES MATHEMATIQUES A LA TRANSMISSION D'UN ESPRIT CRITIQUE (1998-)	61
1. ENTRE THEATRE ET MAÎEUTIQUE. LES MATHEMATIQUES POUR LA PHYSIQUE OU LA PHYSIQUE POUR LES MATHEMATIQUES ?	61
2. ESPRIT CRITIQUE, ES-TU LA ?.....	63
IV. LES <i>HAVRES GRIS</i>. UN RETOUR PLEIN D'USAGE ET RAISON ? (2015-).....	69
1. UN RETOUR REFLEXIF SUR LES PREMIERES AMOURS. LA THERMODYNAMIQUE ET LES LIVRES COMME <i>HAVRES GRIS</i>	70
2. ET S'IL N'Y AVAIT TOUJOURS EU (POUR MOI) QU'UNE SEULE QUESTION, CELLE DU REEL ?	89
V. INTERDISCIPLINARITES. Y REFLECHIR POUR LES PRATIQUER APRES LES AVOIR PRATIQUEES SANS Y REFLECHIR (1997-)	105
1. L'INTERDISCIPLINARITE AU SEIN DES SCIENCES DE LA NATURE. LA PRATIQUER, PUIS Y REFLECHIR	105
2. L'INTERDISCIPLINARITE ENTRE SCIENCES DE LA NATURE ET SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES. Y REFLECHIR SANS REELLEMENT LA PRATIQUER.....	120
3. L'INTERDISCIPLINARITE AU SEIN DES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES POUR SCRUTER LES SCIENCES DE LA NATURE. REFLECHIR A MES PROPRES PRATIQUES	134
CONCLUSION. ARTICULER L'INDIVIDUEL ET LE COLLECTIF	153
BIBLIOGRAPHIE.....	157

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à ma femme Emmanuelle Aubert-Bertrand pour son intelligence, son amour et son soutien indéfectible, à mon ami et collègue Wolf Feuerhahn pour avoir eu l'idée lumineuse de m'orienter en 2015 vers mes *Havres gris*, le retour à mes anciennes amours thermodynamiques, et avoir été mon tout premier lecteur, ainsi qu'à mon ami et ancien professeur Marcel Gauchet pour son œuvre monumentale et pour nos innombrables discussions, qui m'ont permis d'appréhender infiniment mieux le monde dans lequel nous évoluons.

Je souhaite aussi exprimer ma profonde gratitude envers plusieurs artistes ou romanciers avec lesquels je n'ai pourtant jamais eu la chance de m'entretenir, mais qui m'ont accompagné avant même que je devienne enseignant-chercheur, puis tout au long de mes années de recherches, et qui continueront certainement à le faire indéfiniment.

À Robert Smith du groupe de rock britannique *The Cure* pour son art magistral, que j'ai découvert en 1985, à l'âge de douze ans, de sublimer le désespoir humain, tel un Baudelaire anglais de la fin du XX^e siècle.

À *Pink Floyd* (Syd Barrett, David Gilmour, Nick Mason, Roger Waters et Richard Wright) pour les images mentales singulières et le plaisir inestimable que seule leur musique sait me procurer, depuis 1988.

À Jean-Jacques Goldman, Renaud Séchan, Étienne Daho, William Sheller, Jean-Louis Murat, Jacques Higelin, Stéphane Sanseverino, Damien Saez et Benjamin Biolay pour avoir composé et écrit la bande son de ma vie depuis l'adolescence jusqu'à aujourd'hui.

À Frank Herbert pour avoir si brillamment brouillé, avec l'exceptionnelle saga *Dune*, (1965-1985), et en particulier dans le volume *God Emperor of Dune* (1981), la frontière entre science-fiction et sciences humaines et sociales.

À John Ronald Reuel Tolkien pour avoir créé à lui seul un merveilleux monde fictionnel, tout comme ses peuples, ses langues, sa mythologie, son histoire et sa géographie (et tout particulièrement ses oniriques *Havres gris*, à l'extrême-ouest de la *Terre du Milieu*).

À David Lynch et ses personnages Laura Palmer (incarnée par Sheryl Lee) et Dale Cooper (incarné par Kyle MacLachlan) pour avoir exploré l'interface entre le réel et le rêve en franchissant les rideaux rouges de la *Black Lodge*, dans la série télévisée (et le film) *Twin Peaks* (1990-2017).

Mes remerciements sont également destinés aux collègues qui m’ont fait l’honneur de participer au jury de cette habilitation à diriger des recherches. Tout d’abord, je suis très reconnaissant à Olivier Darrigol d’avoir accepté d’en être le garant : sa profonde intelligence de la physique et sa bienveillance constante m’ont accompagné tout au long de ce processus. Je veux également remercier chaleureusement David Aubin, Bernadette Bensaude-Vincent, Soraya Boudia, Peter Galison, David Rabouin, et Nathalie Richard d’avoir accepté de faire partie du jury de ma seconde habilitation à diriger des recherches.

De nombreuses autres personnes ont aussi été très importantes à divers moments de ces vingt-six années de recherche et d’enseignement, et tout particulièrement, par ordre alphabétique : Marlon Aprosio, Alain Arnéodo[†], Marie-Christine Aubert, Michel Aubert, Stéphanie Beghe, Marine Bellego, Véronique Bellosta, Jocelyn Benoist, Andrée Bergeron, Alain Bertrand, Charlotte Bertrand, David Bertrand, Charlotte Bigg, Delphine Blanchard, Claude Blanckaert, Valérie Boisvert, Daniel Bonn, Noushine Bonn-Shahidzadeh, Pierre Bouchara, Élisabeth Bouchaud, Lydie Bressy, Daniel Broseta, Jacqueline Carroy, Isabelle Catto, Coralie Chevallier, Jean-Christophe Coffin, Laetitia Cohen-Tannoudji, Pietro Corsi, Amy Dahan, Vincent Daneluzzi, Timothée Deldicque, Natacha Demoule, Annabelle Diot, Renaud Dorandeu, Rodolphe Dourouni, Emmanuel Dreyfus, Timothée Duverger, Bruno Fruchart, Cécile Goubault, Olivier Greffier, Laetitia Guerlain, Maxime Guesnon, Philippe Guichardaz, Hélène Guillemot, Jonathan Guinchard, Stéphan Guinchard, Denis Guthleben, Arnaud Hurel, Joseph Indekeu, Christian Jacob, Sébastien Jallade, Pablo Jensen, Jean-François Joanny, Pierre-Benoît Joly, Alice Jourdan, Jean-Noël Jouzel, Véronique Jubera, Tatiana Kasperski, Stéphanie Kieffer, Pierre-Yves Lacour, Lucie Laplane, Johanna Laumonnerie-Bertrand, Thibault Le Texier, Olivier Leclerc, Fernando Leal-Calderon, Ginette Lequesne, Nicolas Lequeux, Jean-Marc Lévy-Leblond, Fabrizio Li Vigni, Laurent Loison, Pierre Mallet, Rafael Mandressi, Éléonore Marcovitch, Emmanuel Marcovitch, Stéphane Marcovitch, François Martin, Sophie Martin, Jean-Baptiste Mestelan, Éric Meszaros, Marc Meszaros, Jacques Meunier, Aude Monjaret, Olivier Orain, Élisabeth Parinet, Anny Parneix, Caroline Parneix, Emanuel Parneix, Nicolas Parneix, Sacha Parneix, Cédric Paternotte, Dominique Pestre, Jean-Claude Petit, Perig Pitrou, Cyril Pocréaux, Florian Pocréaux, Nathalie Queyroux, Pascale Rabault-Feuerhahn, Elie Raphaël, Anne Rasmussen, Régine Raynaud, Yves Raynaud, Serge Reubi, Bertrand Rocheron, Benjamin Rotenberg, Olivier Sandre, Cécile Scemama, Véronique Schmitt, Jean-Michel Siaugue, Dylan Simon, Anne Sirand, Fabrice Springinsfeld, Valérie Tesnière, Marie Thébaud-Sorger, Jean-Paul Théologidès, Sezin Topçu, Anabel Vazquez, et Milio Verne.

Je veux également exprimer ma reconnaissance envers toutes ces chercheuses et tous ces chercheurs qui m'ont permis, à l'occasion de rencontres stimulantes, de mieux cerner l'un ou l'autre de mes objets de recherche, et en particulier à Maurice Courbage, René Lefever, et Isabelle Stengers. Je tiens ici à accorder une place spéciale à Christian Vidal, qui fut le plus pédagogue et le plus amical de mes professeurs (de thermodynamique), à Bordeaux (de 1994 à 1997), et à Ilya Prigogine, virtuose de la thermodynamique que j'ai eu le bonheur de rencontrer en 2001, alors qu'il était hélas déjà très affaibli par la maladie. Je veux aussi remercier à nouveau chaleureusement Bernadette Bensaude-Vincent, qui m'a guidé avec amitié tout au long de mes premiers pas dans le domaine de l'histoire des sciences. Je souhaite enfin exprimer ma reconnaissance envers Charlotte Bigg, avec qui j'ai eu tant de plaisir à diriger, pendant deux années (2018 et 2019), le master d'histoire des sciences de l'EHESS, et qui a été une relectrice particulièrement attentive de ma prose en langue anglaise.

L'aide de Christelle Furlon-Kouayep, de Marcel Gauchet, et de Pierre Nora – qui m'a généreusement donné accès à ses archives relatives à la publication de *La Nouvelle Alliance* – m'a été indispensable au sein des éditions Gallimard, et je les en remercie vivement.

J'ai également de nombreuses pensées émues pour l'irremplaçable Pierre Ferrari, pour l'ami tant regretté Jean-Paul Parneix, ainsi que pour Louis Bertrand (Papy Loulou), celui de mes grands-parents dont j'étais le plus proche et avec qui j'ai eu d'innombrables et passionnantes discussions, notamment littéraires, toutes inoubliables, pour mon autre grand-père Gilbert Frölich, en souvenir de tous les moments de rire et de plaisir partagés, et pour ma grand-mère Annie Bertrand pour son estime inconditionnelle.

Surtout, ce travail n'existerait pas sans l'affection profonde et l'inspiration constante de mes parents Michelle et Patrick, et n'aurait aucune signification à mes yeux sans la présence de mes enfants Axel, Samuel et Léïa, auxquels je dédie le présent mémoire (ainsi qu'au même éternel Jean-Louis Murat, disparu le 25 mai 2023).

Introduction. La passion des interfaces ou les affres de l'éclectisme (1984-1997)

*"I wish it need not have happened in my time," said Frodo.
"So do I," said Gandalf, "and so do all who live to see such
times. But that is not for them to decide. All we have to
decide is what to do with the time that is given us."*

(John Ronald Reuel Tolkien, *The Lord of the Rings. The Fellowship of the Ring*, chapter II, 1954)

*On nous gonflait la tête de désirs vulgaires,
De pouvoir et d'argent qu'on aurait mis à l'eau.
Nous, on parlait histoire, liberté, univers,
Et l'on aurait donné notre vie sans un mot, sans un mot.*

(Jean-Jacques Goldman, « Sans un mot », in *Jean-Jacques Goldman*, 1981)

Être un bon élève dans le système scolaire français des années 1980 et du début des années 1990 n'est évidemment pas une situation dont il serait légitime de se plaindre. D'autant moins quand on vit dans un quartier résidentiel favorisé de la banlieue ouest de Paris, à Rueil-Malmaison. Arrivé avec mes parents et ma petite sœur (Charlotte, née en 1979) de ma Toulouse natale à l'âge de huit ans, en 1981, j'ai d'ailleurs eu la chance de fréquenter dès 1984 un collège public qui se situait à la frontière (ou plutôt à l'interface) entre le quartier résidentiel où vivait ma famille et un quartier de logements HLM. J'ai donc connu très tôt une authentique mixité sociale. Cela a certainement contribué à forger l'adolescent, puis l'adulte que je suis devenu, en me faisant prendre conscience très jeune du fait que, avec un père cadre commercial et une mère médecin généraliste (exerçant précisément dans le quartier de HLM en question), je faisais, comme ma petite sœur et mon petit frère (David, né en 1982), partie d'une frange privilégiée de la population française.

Ma vie scolaire et intellectuelle a rapidement été marquée par un profond éclectisme. Je n'en fais d'ailleurs pas un motif de fierté : on ne choisit guère ses affinités électives, surtout à cet âge de découvertes tous azimuts. Au collège, puis au lycée, si l'on excepte l'art plastique (probablement en raison de la piètre qualité des cours et de mon absence totale de facilité pour le dessin), je me suis passionné pour toutes les matières. Ayant eu l'immense chance d'avoir des professeurs exceptionnels dans quasiment toutes les disciplines, je n'aurais vraiment pas su dire si je prenais davantage de plaisir à écouter les récits de mes enseignants d'histoire, à découvrir la rigueur et la dimension ludique des mathématiques, ou encore à apercevoir des clefs de compréhension des mystères inhérents aux comportements de la matière inerte, en

cours de physique. Surtout, j'ai eu le bonheur d'avoir, six années de suite, des professeures de français hors-norme – Madame Sudour en sixième et cinquième, Madame Winsky (qui m'a également enseigné le grec ancien) en quatrième et troisième, et Madame Parinet (que je n'appellerai par son prénom, Élisabeth, que près de trente ans plus tard, comme je l'expliquerai dans le quatrième chapitre de ce mémoire) en seconde et première. La première des trois nous a initiés à la mythologie grecque, pour laquelle je me suis passionné pendant toutes les années de collège. Surtout, elle m'a véritablement inculqué le goût du théâtre – le lire, le voir, le jouer –, en faisant interpréter à toute notre classe environ cinq ou six pièces de Molière (1622-1673) dans leur intégralité, ainsi que *Knock ou le Triomphe de la médecine* (1923) de l'écrivain, poète et dramaturge français Jules Romains (1885-1972), et *La Cantatrice chauve* (1950) de l'écrivain et dramaturge franco-roumain Eugène Ionesco (1909-1994), en l'espace de deux ans. Elle m'a aussi orienté vers mon premier coup de cœur littéraire : *Le Grand Meaulnes* (1913) d'Alain Fournier (1886-1914). C'est aussi grâce à cette enseignante admirable et dévouée que mes copains et moi avons commencé à appréhender les pires horreurs du XX^e siècle, en lisant le tragique *Journal* (1947) d'Anne Frank (1929-1945) et en regardant le poignant *Nuit et Brouillard* (1956) du réalisateur français Alain Resnais (1922-2014).

La deuxième de mes professeures de français, Madame (Danielle) Winsky nous a ouvert l'accès à des trésors de la littérature française : je n'oublierai jamais les riches heures passées à écouter son interprétation lumineuse de *L'Étranger* (1942) d'Albert Camus (1913-1960). Outre de nombreux classiques de la littérature de notre pays, c'est aussi pendant ces deux années que j'ai découvert, notamment grâce aux nombreuses fiches de lecture que nous avions à rédiger à propos d'ouvrages de notre choix, trois auteurs qui demeurent, encore aujourd'hui, dans mon panthéon littéraire : Marcel Pagnol (1895-1974), auteur tout à la fois viscéralement provençal et profondément universel, dont je relis régulièrement les *Souvenirs d'enfance* (*La Gloire de mon père*, 1957 ; *Le Château de ma mère*, 1958 ; *Le Temps des secrets*, 1960) ; John Ronald Reuel Tolkien (1892-1973), philologue britannique, professeur de littérature anglaise à Oxford, et écrivain dont l'œuvre complète, pléthorique et foisonnante, m'accompagne depuis l'adolescence, la trilogie *Le Seigneur des anneaux* (1954-1955) étant sans aucun doute le récit que j'ai lu et relu le plus grand nombre de fois au cours de ma vie, aussi bien dans sa version originale que dans plusieurs traductions françaises ; John Steinbeck (1902-1968), écrivain états-unien dans la magnifique production littéraire duquel je suis entré, au collège, par le sublime *Des Souris et des hommes* (1937).

Enfin, la troisième de ces inoubliables « hussardes noires » de la République, Élisabeth Parinet, a définitivement ancré en moi l'amour de la littérature. Je ne citerai que quatre ouvrages qu'elle nous a fait découvrir et aimer : *La Chartreuse de Parme* (1839) de Stendhal (1783-1842), *Quatre-vingt-treize* (1874) de Victor Hugo (1802-1885), *Le Désert des Tartares* (1940) de l'écrivain, journaliste et peintre italien Dino Buzzati (1906-1972), et *Tristes Tropiques* (1955) de l'anthropologue français Claude Lévi-Strauss (1908-2009). Je n'ai relu que le dernier, mais les trois autres font entrer en résonance chez moi de puissantes émotions passées, à la simple évocation de leur titre.

La pratique du théâtre a ainsi fait une entrée fracassante dans ma vie dès la classe de sixième, en 1984, mais c'est véritablement en classe de troisième que cette activité est devenue ma première véritable passion. Pendant l'année scolaire 1987-1988, Danielle Winsky nous a fait monter la magnifique pièce *La Guerre de Troie n'aura pas lieu* (1935) de l'écrivain, dramaturge et diplomate français Jean Giraudoux (1882-1944). À cette occasion, j'ai eu le plaisir d'incarner l'un des personnages principaux, le prince troyen Hector. Galvanisé par les appréciations élogieuses des parents d'élèves, auprès desquels nous avons donné deux représentations de cette pièce, et porté par un narcissisme si courant à l'adolescence, j'ai longtemps pensé, jusqu'à la fin de mes années d'étudiant en école d'ingénieurs que je consacrerai ma vie professionnelle à l'art dramatique. C'est seulement au cours de ma thèse de doctorat en physique – j'y reviendrai au paragraphe III.1 – que je me suis rendu compte que je pourrais sans aucun doute épanouir mon « désir de planches » par le biais du métier d'enseignant-chercheur.

Une autre découverte importante de mon adolescence fut le grec ancien et la pensée de Platon, d'Aristote et des penseurs présocratiques. J'ai en effet eu l'immense chance de découvrir le grec auprès de Danielle Winsky dans le cadre de deux années de ce qui s'apparentait à un cours particulier, puisque nous étions seulement deux élèves à suivre cet enseignement au collège : mon amie Stéphanie Beghe et moi. Je doute d'ailleurs qu'aujourd'hui l'Éducation nationale accepterait de maintenir un tel enseignement optionnel avec seulement deux élèves. Notre professeure de grec étant également notre professeure de français, elle a emmené toute notre classe de quatrième découvrir la Grèce, pendant une semaine inoubliable de mars 1987. Nous avons même eu le privilège rare de découvrir l'Acropole d'Athènes sous la neige (que les Athéniens n'avaient alors pas vue depuis quarante ans, selon notre guide) ainsi que le sublime site archéologique de Delphes, dans les mêmes conditions climatiques. Ce faisceau d'apprentissages, dans les textes et sur le terrain, a déclenché en moi un intérêt vif et

durable pour la Grèce antique. Plus tard, en classe de terminale, c'est l'atypique mais passionnante professeure de philosophie Madame Siron qui a prolongé ma rencontre initiale avec les philosophes grecs en m'initiant au plaisir subtil et exigeant de la philosophie, et en insistant notamment, pendant plus d'un trimestre, sur la thématique du langage et de son articulation avec la réalité (quelle que soit la définition que l'on veuille bien en donner).

Mes goûts éclectiques n'ont pas pour autant été confinés dans la sphère scolaire et littéraire. Au même moment, s'est imposé un autre domaine de la culture, qui n'a jamais trouvé d'équivalent dans ma vie : la musique. Depuis l'adolescence, je ne saurais vivre sans écouter de musique et il ne se passe pas un jour sans que j'y consacre une partie de mon temps. Et, là aussi, je n'ai jamais voulu choisir une seule dimension de cet amour passionnel. Pour mon épanouissement, quasiment tous les genres musicaux sont indispensables : la musique classique (même si je ne connais vraiment qu'une partie de l'œuvre de Mozart), à petites doses, le jazz (un genre à propos duquel je suis encore béotien, à l'exception du saxophoniste John Coltrane et du groupe français Magma), la musique bretonne ou celtique (Tri Yann, Alan Stivell), le hip-hop (Beastie Boys, NTM, IAM, Orelsan...), la chanson française (Georges Brassens, Léo Ferré, Serge Gainsbourg, Jean-Jacques Goldman, Étienne Daho, Renaud Séchan, William Sheller, Jean-Louis Murat, Camille, Thomas Fersen, Jacques Higelin, Stéphane Sanseverino, Benjamin Biolay, Damien Saez... m'accompagnent sur tous les chemins que j'emprunte), le rock français (Indochine, Téléphone, Trust, Alain Bashung, Noir Désir, No One Is Innocent, Les Wampas, Feu ! Chatterton...), et – certainement le genre musical le plus présent dans mon quotidien – le rock anglophone (qui serais-je aujourd'hui sans The Beatles, Pink Floyd, The Who, Led Zeppelin, David Bowie, Neil Young, The Cure, Michael Jackson, Simple Minds, U2, Nirvana, Pearl Jam, Blur, Opeth, Radiohead ou encore Archive ?).

Pour revenir sur mon éclectisme scolaire de bon élève français, c'est en terminale que les choses se sont corsées et que j'ai été confronté à mon premier choix cornélien, et ô combien douloureux. Voyant que j'étais passionné par sa matière, ma professeure de philosophie m'incitait à m'inscrire en hypokhâgne, mais l'ensemble du corps enseignant restant était unanime : j'étais, selon eux, destiné à poursuivre mes études en classes préparatoires scientifiques. Je n'ai jamais accepté cette idée qu'il fallait, dans le système scolaire français, après le baccalauréat, décider d'être exclusivement soit littéraire soit scientifique (soit commercial, mais cette « troisième voie » très blairo-schröderienne ne m'a jamais attiré). J'ai toujours vu cette alternative comme une injonction à l'hémiplégie intellectuelle par l'organisation de l'enseignement supérieur. J'avais la chance de ne subir aucune pression

parentale dans le cadre de cette décision, mais le prestige et la légitimité sociale supérieure des sciences dans notre culture contemporaine ont eu finalement raison de mes hésitations. Comment résister, quand on a à peine dix-huit ans, au miroir aux alouettes que constitue une poursuite de ses études en mathématiques supérieures, puis spéciales, dans le si renommé lycée Louis-le-Grand ?

Arraché ainsi sans grand enthousiasme aux affres de l'éclectisme, j'ai donc mis entre parenthèses pour quelques années ma passion pour les lettres, les sciences humaines et sociales et leurs interfaces avec les sciences de la nature. De façon révélatrice, néanmoins, mes plus grandes joies et mes plus intenses souvenirs intellectuels de ces trois années de classes préparatoires scientifiques relèvent des cours suivis dans les seules matières non « scientifiques » (au sens de cet adjectif, communément admis dans nos sociétés, comme se rapportant aux seules sciences de la nature ou aux mathématiques). Un remarquable professeur de littérature, principalement affecté aux classes préparatoires littéraires du lycée Louis-le-Grand, nous a gratifiés pendant deux années, en mathématiques spéciales, de cours passionnants, et nous a donné accès à la beauté de l'œuvre de Marcel Proust (1871-1922), la seconde partie d'*À l'ombre des jeunes filles en fleur* (1918) ayant été au programme des concours d'école d'ingénieurs en 1994. Une bénédiction ! Depuis, la lecture de Proust a toujours constitué pour moi un refuge d'intelligence et la plus pertinente clef d'entrée dans le monde de la psychologie humaine. En parallèle, grâce à un travail de version anglaise des premières pages de *The New York Trilogy* (1985-1986), j'ai plongé dans la découverte de l'œuvre de l'écrivain états-unien Paul Auster, né en 1947. D'ailleurs, c'est en français et en anglais que j'ai obtenu mes meilleurs résultats à tous les concours d'écoles d'ingénieurs que j'ai passés. Un comble pour un supposé pur « scientifique » !

Sur le plan des rencontres, ces trois années de classes préparatoires scientifiques à Louis-le-Grand furent riches, et je garde plusieurs amis chers de ces années-là. Sur le plan intellectuel, en revanche, j'en conserve le souvenir d'une approche stérile et purement bachoteuse des enseignements scientifiques. Je me souviendrai toujours d'une remarque de l'un des très rares professeurs pédagogues et bienveillants que j'y ai côtoyés, mon professeur de mathématiques en « maths spé », Richard Antetomaso. Voyant que je manquais de motivation et n'obtenais pas dans sa matière des résultats à la hauteur de ses espérances, il me dit un jour : « Monsieur Bertrand, votre problème est que vous cherchez toujours à comprendre. Mais ce n'est pas l'objet ici : il faut enchaîner les exercices sans se poser de question, c'est la seule façon de réussir dans ces concours scientifiques ! » Passablement déprimé par le profond ennui

intellectuel que je ressentais, j'ai cependant réussi à me passionner pour deux domaines pendant ces trois années de baigne intellectuel : la thermodynamique – j'y reviendrai tout au long de ce mémoire –, et, au cours de mes longues heures de transports en commun, la littérature de science-fiction. Cette dernière passion s'est d'ailleurs renforcée de façon continue jusqu'à aujourd'hui, en particulier à l'occasion de ma découverte en 1994-1997 de ce que je considère comme un chef d'œuvre de la littérature mondiale, au-delà du seul genre de la science-fiction : les six volumes de la saga romanesque *Dune*, écrite par l'écrivain états-unien Frank Herbert (1920-1986), de 1965 à 1985. La lecture de cette odyssée m'a réamarré à mon éclectisme passé et m'a réconcilié avec ma passion pour les interfaces. Cette œuvre monumentale se situe en effet indéniablement à l'intersection entre littérature et sciences humaines et sociales, et plus précisément philosophie, sciences politiques, pensée écologique, réflexions sur les religions et leur place dans l'histoire des civilisations humaines, etc.

Dans ce mémoire de synthèse, je m'efforcerai de montrer que, dans la continuité de ma scolarité et de mes études supérieures, j'ai toujours cherché, dans ma vie d'enseignant-chercheur, à approfondir ma passion pour les interfaces et à m'intéresser à divers types d'interactions. D'abord, comme physicien des interactions entre interfaces, je me suis promené à l'intersection entre physique, chimie et biologie. Puis, comme historien des sciences, j'ai arpenté l'interface entre sciences de la nature et sciences humaines et sociales, tout en me focalisant sur l'histoire de diverses formes d'interdisciplinarité. Surtout, j'ai mobilisé des approches de sciences humaines et sociales faisant feu de tout bois disciplinaire – histoire, philosophie, sociologie, sciences politiques – aussi bien pour mes recherches que dans le cadre de ma pratique pédagogique.

I. La physique des interactions entre interfaces. L'aimer, la quitter (1997-2009)

*Please stop loving me.
I am none of these things.*

(Robert Smith, "End", in *The Cure, Wish*, 1992)

1. Essai de vulgarisation de la physique des interactions entre interfaces

Ce premier chapitre vise à résumer, sans entrer dans les détails techniques, une grande partie des recherches en physique que j'ai effectuées, en collaboration avec des collègues français ou étrangers, pendant les treize premières années de ma vie de chercheur. Autrement dit, il s'agit d'un authentique exercice de vulgarisation de la physique des interactions entre interfaces à destination d'un lectorat de praticiens des sciences humaines et sociales, étant entendu que je n'attribue aucune connotation péjorative au terme de vulgarisation – une activité à laquelle je reconnais même une certaine noblesse intellectuelle, voire un caractère foncièrement démocratique de mise à disposition de savoirs ésotériques pour le grand public.

Mais la difficulté de l'exercice de vulgarisation se redouble ici d'un authentique défi réflexif car il s'agit de tenter de rendre accessible des travaux scientifiques avec une distance de treize à vingt-six années, alors que les options philosophiques implicites de leur coproducteur ont considérablement évolué depuis que ces travaux ont été réalisés. Je vais donc m'efforcer – tout en sachant qu'il s'agit là d'un idéal fondamentalement inatteignable – de restituer ces recherches dans l'état d'esprit avec lequel j'y ai contribué. Pour essayer d'explicitier cette gageure en quelques mots, je dirais que ma position métaphysique à propos du statut de ces recherches, alors qu'elle était largement impensée pour elle-même, est aujourd'hui sans aucun doute fort différente de ce qu'elle me semble avoir été à l'époque. Je ne saurais dire si j'y ai jamais adhéré implicitement, mais je sais que je me situe aujourd'hui explicitement aux antipodes de la position métaphysique (ou épistémologique) du réalisme physique.

Il est indispensable, à ce stade, de m'arrêter un instant sur ce que j'entends par « réalisme physique. » Nous pouvons pour cela repartir de la distinction opérée, à la fin du XVIII^e siècle, par le philosophe allemand Emmanuel Kant (1724-1804), entre le « réel en soi », c'est à dire la réalité indépendante de nos points de vue et de nos descriptions, et le « réel pour nous », c'est-à-dire la réalité telle qu'elle nous apparaît et que nous la décrivons, ou, de façon

équivalente, dans la terminologie kantienne, entre les « noumènes » et les « phénomènes ». Pour Kant, nous n'avons accès, par l'intermédiaire de nos expériences sensibles en général, et de nos expérimentations scientifiques en particulier, qu'aux seuls phénomènes, c'est-à-dire que nous ne pouvons connaître que le *réel pour nous*. En revanche, pour ce même philosophe, le *réel en soi* est inaccessible à nos entreprises de connaissance (Kant, 1781, 248-253).¹ En suivant le physicien (en mécanique quantique) et philosophe des sciences français Bernard d'Espagnat (1921-2015), qui s'inspire lui-même explicitement de la *Critique de la raison pure* de Kant, je parlerai de « réalisme physique » pour la position philosophique – contraire à celle de Kant – qui considère qu'il n'y a pas lieu de distinguer ces deux niveaux de réalité, et que les sciences physiques nous permettent donc d'accéder à la connaissance du *réel en soi*.

D'Espagnat définit précisément ce réalisme physique, ou mathématique, comme « la conception selon laquelle il n'y a aucune distinction essentielle à faire entre le réel en soi et l'ensemble des phénomènes » (Espagnat, 1985, 13). Il explicite aussi la raison pour laquelle il utilise tantôt l'un et tantôt l'autre des deux adjectifs pour qualifier ce réalisme : « cette interprétation sera appelée indifféremment soit *réalisme mathématique*, pour rappeler que ces "vrais" concepts sont de nature mathématique en général, soit *réalisme physique* pour bien signifier qu'il s'agit d'une conception dans laquelle il est supposé que la physique peut légitimement aspirer à décrire la réalité en soi – c'est-à-dire une réalité pleinement indépendante de l'homme – et qu'il s'agit de la décrire, à la limite, telle qu'elle est » (Espagnat, 1985, 24).²

Insistons dès maintenant sur un point sémantique susceptible de semer la confusion chez la lectrice ou le lecteur désireux de prolonger la lecture de ce paragraphe par celle d'autres auteurs qui réfléchissent sur cette problématique du réalisme. Le mot « réalisme » a une histoire longue et donc une grande polysémie, consécutive à ses diverses utilisations, synchroniques ou successives, depuis le début du XIX^e siècle, dans des domaines parfois fort éloignés les uns des autres. On peut d'ailleurs constater qu'une partie des auteurs qui l'emploient ont tendance à lui adjoindre systématiquement une épithète pour en préciser la signification et éviter tout ambiguïté.³ Néanmoins, lorsqu'il est utilisé seul, il prend parfois un sens différent de celui que

¹ On pourra se reporter à (Kant, 2006, 301-305) pour une édition française contemporaine.

² Quelques lignes avant, il précise que les « vrais » concepts, dont il parle dans ce passage, sont, pour un adepte du réalisme mathématique, « ceux qui reflètent adéquatement les structures mêmes de la réalité en soi. »

³ Pour une discussion des différentes acceptions et nuances conférées au terme « réalisme » à la fois dans le domaine de la philosophie et dans celui de la physique, et tout particulièrement dans l'œuvre de philosophie des sciences de Bernard d'Espagnat, le lecteur pourra se reporter avantageusement au texte du philosophe des sciences français Michel Bitbol (né en 1954) intitulé « Les questions du réalisme » (Bitbol, 1997). Une anthologie de textes de philosophes des sciences de la seconde moitié du XX^e siècle sur le réalisme est disponible dans le second

j'ai adopté en employant l'expression « réalisme physique », c'est-à-dire un sens beaucoup plus large, que je propose de qualifier de « réalisme au sens faible ». Ce réalisme au sens faible consiste uniquement à affirmer qu'il existe une réalité indépendante des humains qui s'expriment à son sujet, qui précède l'apparition de ces humains et continuera à exister bien après leur disparition. Dans cette acception au sens faible, le réalisme est donc une position philosophique qui se contente d'affirmer qu'il existe un *réel en soi*. Je ne reprendrai pas à mon compte ce sens faible du mot « réalisme », pour une raison très simple : personnellement, je n'ai jamais lu aucun texte non fictionnel, qu'il soit écrit par un scientifique ou par un philosophe, qui n'adhère pas à cette position philosophique du réalisme au sens faible. Je tiendrai donc pour acquis qu'il existe bien un *réel en soi*. D'ailleurs, la philosophe française Isabelle Thomas-Fogiel va plus loin et affirme que « l'appellation "réalisme" ne peut [...] se prévaloir de la seule affirmation trop générale "qu'il y a un réel", car, nous y reviendrons, personne ne l'a jamais nié » (Thomas-Fogiel, 2017, 9-10). Elle insiste plus loin : « Personne n'a jamais nié qu'il y avait bien un X extérieur à moi ou à l'espèce humaine et non relatif au fait que nous nous le représentions à un moment ponctuel » (Thomas-Fogiel, 2017, 15-16).

Pour revenir à mes recherches de physicien, je dirais qu'elles ont été menées avec une attitude intellectuelle implicite assez proche du réalisme physique, alors que je suis pourtant aujourd'hui entièrement convaincu qu'elles se rapportaient exclusivement à des phénomènes, c'est-à-dire au *réel pour nous*, et n'avaient en fait pas grand-chose à dire sur le comportement du *réel en soi*. Je m'exprimerai donc, dans la suite de ce chapitre, en poussant l'anamnèse jusqu'à prétendre n'avoir rien à dire sur la distinction entre *réel pour nous* et *réel en soi*. Je ne prendrai donc aucune précaution rhétorique pour parler des phénomènes de physique appréhendés alors, et ne chercherai pas à rappeler systématiquement que ce ne sont finalement là que des phénomènes étudiés par des humains et ne reflétant que ce que des humains ont à en dire pour les décrire, les représenter, les prédire ou les utiliser.

La majeure partie de mes recherches en physique s'est intéressée à des phénomènes impliquant des surfaces – ou des *interfaces*. De fait, en physique, une surface est toujours aussi une interface. En effet, une surface est la limite d'un système matériel, c'est-à-dire son bord, et permet donc de distinguer l'intérieur et l'extérieur de ce système. On désigne généralement cet environnement (intérieur ou extérieur) par le terme de « phase », qui permet de rendre compte de la nature matérielle spécifique de l'environnement en question. On parle ainsi de phase

volume, sous-titré *Naturalismes et réalismes*, du recueil en deux volumes intitulé *Philosophie des sciences* (Laugier, Wagner, 2004).

solide, de phase liquide, ou encore de phase gaz (ou vapeur). Toute surface est donc une délimitation entre deux phases (et est donc parfois aussi appelée « interphase »), ou encore une zone de séparation entre les deux faces de cette surface, d'où la dénomination *interface*. L'étude des interfaces, en physique théorique, a été amorcée par les travaux du physicien, médecin et égyptologue britannique Thomas Young (1773-1829), et du mathématicien, astronome et physicien français Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), au début du XIX^e siècle (Young, 1805 ; Laplace, 1805).

Contrairement à une approche exclusivement mathématique, dans le cadre de laquelle une surface, ou une interface, est d'épaisseur nulle (comme tout « plan », au sens mathématique), l'approche physique considère qu'une interface a toujours une épaisseur finie (non nulle), et c'est pourquoi l'expression « région interfaciale » est souvent utilisée. Une interface est donc une région de l'espace d'épaisseur finie dans laquelle on rencontre des entités caractéristiques de chacune des phases situées de part et d'autre.

Pour mieux saisir concrètement ce qu'est une interface, il est indispensable d'introduire la notion de molécule. Une molécule est un assemblage stable d'atomes. La théorie de l'existence des atomes – constituants élémentaires insécables de la matière –, ou « hypothèse atomique », date de l'Antiquité grecque, notamment sous la plume de Démocrite (460 av. JC - 370 av. JC), mais n'a cependant eu, jusqu'au XVIII^e siècle, qu'un petit nombre d'adeptes. Le chimiste britannique John Dalton (1766-1844) s'est efforcé de la remettre au goût du jour en 1808, mais sa théorie n'a pas convaincu la totalité de la communauté scientifique de son époque. Au XIX^e siècle, les théories atomistes (ou moléculaires) sont très influentes, et même majoritaires à la fin du siècle, mais c'est seulement en 1913 que le physicien et homme politique français Jean Perrin (1870-1942) provoque un rapide consensus à propos de l'existence des atomes, en décrivant plus d'une dizaine de mises en évidence expérimentales (Stengers, 2003b, 19) de ces entités, dans son ouvrage précisément nommé *Les Atomes* (Perrin, 1913). Sans entrer dans la question du statut de la réalité – phénoménale ou nouménale – associée aux molécules, mon expérience personnelle m'incite à affirmer que la grande majorité des physiciens et des chimistes mobilisent aujourd'hui ces entités comme des composantes du *réel en soi*, même si cette position métaphysique est rarement réfléchie ou exprimée explicitement.

Si l'on revient à la notion d'interface, nous pouvons désormais considérer comme acquis que les deux phases situées de part et d'autre d'une interface sont composées d'un nombre immense de molécules (de l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro, soit environ 6.10^{23}).

Les deux principaux domaines de la physique mobilisés pour étudier les interfaces, c'est-à-dire les régions interfaciales, sont la thermodynamique (d'équilibre) et la physique statistique. La thermodynamique est en effet la partie de la physique qui s'attache à décrire les comportements macroscopiques des systèmes matériels inertes composés d'un très grand nombre de particules (atomes, molécules, électrons, etc.), et auxquels on peut attribuer une température, en raison de l'agitation spontanée de ces particules. En effet, dès que l'on se situe au-dessus du zéro absolu (soit une température d'environ $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), les particules sont toujours en mouvement et entrent en permanence en collision entre elles et avec les parois ou les bords du système dont elles font partie. Les propriétés macroscopiques des systèmes matériels inertes à l'équilibre thermodynamique sont intimement liées aux propriétés microscopiques des entités (particules, molécules) qui les composent. Or c'est précisément la physique statistique (Diu, Guthmann, Lederer, Roulet, 1989) qui permet de faire le lien entre les échelles microscopique (de l'ordre de 10^{-10} m à 10^{-9} m , c'est-à-dire de l'Angström au nanomètre) et macroscopique (entre 10^{-6} m , soit un micron, et 10^3 m , soit un kilomètre, ou plus). Le très grand nombre de particules microscopiques considérées, de l'ordre de 10^{23} , oblige à recourir à des méthodes statistiques pour appréhender les comportements moyens de ces particules, tant il est évident qu'il est impossible à un humain (et même aux ordinateurs actuels, à dire vrai) de manipuler simultanément environ 10^{23} équations.

Considérons, à titre d'illustration des généralités précédentes, la surface d'un lac artificiel (pour éviter de tenir compte de la présence d'organismes vivants qui complexifieraient inutilement la description dans le cas d'un lac naturel). La phase du dessous est liquide et contient un nombre immense de molécules d'eau (et de molécules, en nombre bien moindre quoiqu'immense également, de substances chimiques diverses). La phase du dessus est gazeuse, et contient les innombrables molécules qui composent notre atmosphère, parmi lesquelles les molécules de vapeur d'eau jouent ici un rôle particulier. Si nous faisons abstraction de toutes les entités moléculaires – dans les phases liquide comme gaz – autres que les molécules d'eau, nous pouvons proposer une vision simple de la surface du lac. Dans la phase inférieure d'eau liquide, les molécules d'eau sont présentes avec une grande densité (environ 1 kg/L), alors que, dans la phase supérieure de vapeur d'eau, les molécules d'eau sont beaucoup plus diluées (leur densité est d'environ 1 g/L). Au niveau de la région interfaciale – la surface du lac –, d'une épaisseur de quelques molécules d'eau, la densité est intermédiaire : une partie des molécules d'eau repart rapidement dans la phase dont elle provient et l'autre partie traverse cette région pour changer de phase. L'interface est donc une région animée par un flux permanent de molécules se déplaçant dans les deux sens (vers le bas ou vers le haut) :

certaines molécules se condensent et d'autres s'évaporent. Les caractéristiques physiques de cette région sont donc différentes de celles des deux phases situées de part et d'autre. Les propriétés des interfaces, dans un cas aussi simple que celui-ci, sont bien connues des physiciens, depuis au moins les années 1970 (Israelachvili, 1991). En revanche, à la fin des années 1990, il restait encore un certain nombre de phénomènes à élucider dans le cas plus complexe où deux (voire plus) interfaces du type précédemment décrit se situent à proximité l'une de l'autre, et entrent ainsi en interaction. C'est par exemple le cas d'une goutte d'eau qui s'étale à la surface d'une feuille de papier. La description d'une telle situation engage alors trois interfaces simples distinctes : l'interface entre le papier (solide) et l'air (gaz), l'interface entre le papier (solide) et l'eau (liquide), et l'interface entre l'eau (liquide) et l'air (gaz).

C'est principalement à l'étude de telles interactions physiques entre interfaces que je me suis consacré au cours de mes treize années de recherches en tant que physicien. J'ai notamment cherché à mettre en évidence expérimentalement, et à comprendre théoriquement, l'influence de divers paramètres tels que la température, la pression, la composition chimique des phases en présence, la nature des molécules impliquées, ou encore les mouvements relatifs des interfaces, sur le comportement physique de ces interfaces en interaction. Je me suis intéressé à trois types d'interfaces en interaction : des interfaces entre phases inertes (c.-à-d. sans molécule biologique) au repos (c.-à-d. à l'équilibre thermodynamique), des interfaces au repos comprenant des molécules d'origine biologique, et des interfaces inertes en mouvement les unes par rapport aux autres (Bertrand, Bibette, Schmitt, 2002 ; Guery, Bertrand, Rouzeau, 2006). Je ne mentionnerai en détail, dans ce mémoire, que les deux premiers types d'interfaces.

2. Interactions entre interfaces inertes simples

Pour tenter de comprendre théoriquement, puis d'étudier expérimentalement, les interactions entre interfaces inertes simples à l'équilibre thermodynamique, il est indispensable de commencer par s'intéresser aux interactions entre les molécules qui composent les phases situées de part et d'autre de chaque interface, c'est-à-dire aux interactions moléculaires.

Interactions moléculaires entre molécules non biologiques et non chargées

Dans le cas de molécules non biologiques et non chargées (dites « neutres »), ces interactions sont essentiellement de deux types (Israelachvili, 1991) :

1) Des interactions *répulsives* dites « stériques » : elles résultent du simple fait que les molécules ne peuvent pas s'interpénétrer, c'est-à-dire que deux atomes ne peuvent pas occuper la même position dans l'espace au même moment. Pour le dire de façon triviale : la matière occupe une partie de l'espace et empêche toute autre matière d'occuper la même partie de l'espace au même moment. L'image la plus simple pour illustrer ces interactions stériques est certainement celle de boules de billard qui, ne pouvant s'interpénétrer, se repoussent lorsqu'elles entrent en contact.

2) Des interactions *attractives* dites « de van der Waals » (van der Waals, 1894).⁴ Chaque molécule (chargée ou pas) est caractérisée par une dissymétrie de la répartition des électrons en son sein, soit de façon spontanée soit sous l'influence de la proximité d'autres molécules.⁵ On dit ainsi que toute molécule se comporte comme un « dipôle électrostatique » (permanent ou induit par la présence d'autres molécules), et il se trouve que tout dipôle électrostatique attire tout autre dipôle électrostatique. Toute molécule attire donc toute molécule, quelle que soit la nature des molécules en question. Sans la prise en compte de ce type d'interaction, aucune autre théorie scientifique actuelle ne permettrait de comprendre pourquoi il existe dans l'univers de la matière condensée – liquide et *a fortiori* solide – et pourquoi l'univers n'est pas composé exclusivement de gaz.

Interactions entre interfaces inertes non chargées

Lorsque l'on s'intéresse à deux interfaces inertes à proximité l'une de l'autre, les interactions entre molécules au sein des diverses phases situées de part et d'autre des interfaces, et entre molécules de phases différentes, engendrent des interactions globales entre interfaces. Ainsi, à l'échelle macroscopique, tout se passe comme si les deux interfaces interagissaient directement entre elles. Concrètement, à notre échelle, les interfaces considérées s'attirent ou se repoussent. Le cas de l'intégration de l'ensemble des interactions moléculaires entre deux phases inertes séparées par une couche d'une troisième phase inerte – c'est-à-dire le cas d'une

⁴ Cet article en allemand de 1894 du physicien néerlandais Johannes Diderik van der Waals (1837-1923), lauréat du prix Nobel de physique en 1910 « pour ses travaux sur l'équation d'état des gaz et des liquides », a été traduit ultérieurement en anglais sous le titre "The thermodynamic theory of capillarity under the hypothesis of a continuous variation of density".

⁵ Un type particulier d'interactions de van der Waals, dénommées depuis interactions de London-van der Waals, a été étudié en 1930 (London, Polanyi, 1930) par le physicien états-unien d'origine allemande Fritz London (1900-1954) et le chimiste, épistémologue et économiste hongrois, naturalisé britannique Michael Polanyi (1891-1976). Notons que Michael Polanyi fut l'un des membres fondateurs de la Société du Mont-Pèlerin, groupe de réflexion créé en 1947 pour promouvoir le libéralisme économique auprès des dirigeants occidentaux (Mirowski, Plehwe, 2009). En épistémologie, il a développé la notion de « connaissance tacite » (Polanyi, 1966), reprise dès 1974 par le sociologue des sciences britannique Harry Collins, né en 1943 (Collins, 1974), que nous retrouverons au paragraphe V.3 du présent mémoire.

interaction entre deux interfaces inertes – fut étudié en 1937 (Hamaker, 1937) par le physicien néerlandais Hugo Christiaan Hamaker (1905-1993). Son calcul, basé sur un certain nombre d'approximations, permet de faire la somme de toutes les interactions moléculaires de van der Waals du système considéré et d'en déduire un paramètre unique W , intitulé depuis « constante de Hamaker ». Le signe de cette constante W permet de déterminer si l'interaction entre interfaces est attractive ou répulsive. Une valeur positive de W correspond à une interaction effective attractive entre les deux interfaces, alors qu'une valeur négative correspond à une interaction répulsive. Le calcul rigoureux, sans aucune approximation, de cette énergie effective d'interaction entre deux interfaces a été réalisé en 1955 (Lifshitz, 1955) par le physicien théoricien soviétique Evgueni Mikhaïlovitch Lifshitz (1915-1985).

Phénomènes de mouillage

Pour définir un « état de mouillage », il faut considérer un système composé de trois phases en présence, à l'équilibre thermodynamique. L'une de ces trois phases, notée S , sera considérée comme le substrat, c'est-à-dire le support des phénomènes de mouillage de l'une des deux autres phases. Pour la clarté de l'exposé, nous noterons les deux autres phases L et V , en référence à un liquide et une vapeur. La seule contrainte est que l'une au moins des deux phases L et V soit une phase liquide.

Lorsque l'on dépose une goutte de la phase L (qui coexiste avec la phase V) sur le substrat S , deux états de mouillage différents peuvent être rencontrés (Gennes, 1985). Si la goutte ne s'étale pas et demeure sous forme de goutte (ou lentille) à la surface du substrat, on parle de « mouillage partiel » car le substrat n'est que partiellement couvert par la phase L (schéma de gauche sur la figure 1). On dit aussi que la phase L mouille partiellement le substrat S . Dans ce cas, il existe malgré tout un film microscopique de phase L , d'une épaisseur de quelques molécules, qui coexiste avec la goutte qui ne s'étale pas. Au contraire, si la goutte de phase L s'étale à la surface du substrat pour former un film macroscopique et uniforme, on parle de « mouillage complet » car le substrat est complètement recouvert par la phase L (schéma de droite sur la figure 1). On dit alors que la phase L mouille complètement le substrat.

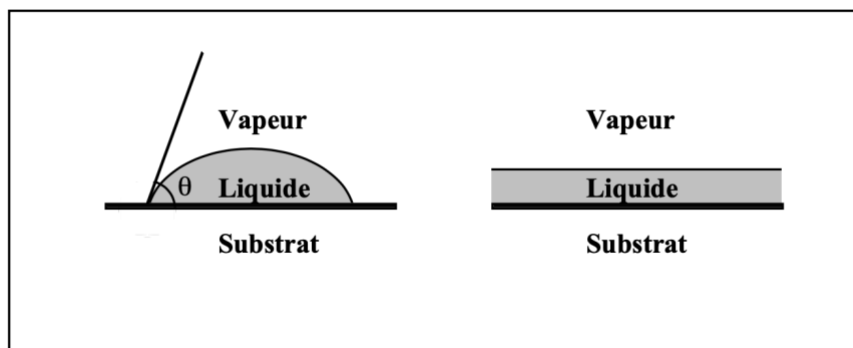


Figure 1 : représentation schématique du *mouillage partiel* (à gauche) et du *mouillage complet* (à droite) ; l'angle θ est dénommé « angle de contact » (source : Bertrand, 2000).

Il est important de noter ici que le substrat S n'est pas nécessairement un solide. Dans la plupart des expériences de ma thèse, il s'agit en fait d'un liquide, en l'occurrence une solution aqueuse. Plus précisément, je me suis intéressé au phénomène de mouillage d'alcane (molécules organiques, composants principaux du pétrole) sur l'eau (ou sur des solutions aqueuses salées). Dans le cadre de ma thèse, le substrat S correspond donc à une solution aqueuse, la phase L à un alcane (ou un mélange d'alcane) liquide, et la phase V à la vapeur de l'alcane (ou du mélange d'alcane) en question. Au cours de ces travaux, j'ai étudié le passage d'un état de mouillage partiel (à l'équilibre thermodynamique) à un état de mouillage complet (toujours à l'équilibre thermodynamique) et aux divers paramètres physico-chimiques permettant de contrôler ce passage, ou plutôt cette « transition de phase ». Avant d'expliquer cela plus précisément, il est indispensable de s'arrêter sur les notions de *transition de phase* et d'*ordre* d'une transition de phase.

Notions de transition de phase et d'ordre d'une transition de phase

Une transition de phase est le passage d'un système matériel d'une phase donnée, à l'équilibre thermodynamique, à une autre phase, dans un autre état d'équilibre thermodynamique. Dans les cas les plus simples, le paramètre physique qui permet de contrôler cette transition de phase est la température, et l'on peut donc définir une température de transition de phase T_0 : la phase de basse température ($T < T_0$) est différente de la phase de haute température ($T > T_0$). Par exemple, la fusion est une transition de phase solide/liquide, et la température de fusion de la glace à pression atmosphérique est de 0°C : au-dessous de cette température, l'eau est à l'état solide (glace) ; au-dessus, l'eau est à l'état liquide.

En 1933, le physicien autrichien naturalisé néerlandais Paul Ehrenfest (1880-1933) introduit une classification des transitions de phase à partir d'une grandeur thermodynamique, dite potentiel thermodynamique : l'énergie libre, notée F (Ehrenfest, 1933).⁶ L'énergie libre F est intimement liée à l'énergie interne (notée U) d'un système, et elle s'exprime généralement comme fonction de la température T et du volume V du système. Lors d'une « transition de phase du premier ordre », pour utiliser la terminologie introduite par Ehrenfest, l'énergie libre est continue, mais ses dérivées premières par rapport à ses variables (dite d'état) T et V sont discontinues, lors de la transition. Lors d'une « transition de phase du second ordre », appelée encore *transition de phase critique*, l'énergie libre et ses dérivées premières sont continues, mais ses dérivées secondes par rapport à ses variables (dites d'état) T et V sont discontinues, à la transition. Les *transitions de phase critiques* ont été étudiées de façon intensive par l'école soviétique de physique théorique, et en particulier par le physicien théoricien soviétique Lev Davidovitch Landau (1908-1968), prix Nobel de physique en 1962 pour « pour ses théories pionnières à propos de l'état condensé de la matière, particulièrement l'hélium liquide », et par son collègue, déjà mentionné, Evgueni Lifshitz (Landau, Lifshitz, 1967).

Deux propriétés essentielles, plus concrètes et moins étroitement mathématiques, de ces deux types de transitions de phase permettent de les différencier expérimentalement (Papon, Leblond, 1990) :

1) Lors d'une *transition de phase du premier ordre*, il y a coexistence entre les deux phases différentes, pendant toute la durée de la transition. C'est par exemple le cas de la transition de phase solide/liquide d'un corps pur. Ainsi, lorsqu'un morceau de glace fond, il coexiste avec l'eau liquide tant que la température reste égale à sa température de fusion (0°C). Au contraire, lors d'une *transition de phase critique*, il y a passage continu d'une phase à l'autre, sans qu'il n'y ait jamais coexistence des deux phases. C'est par exemple le cas de la transition liquide/gaz d'un corps pur lorsque l'on passe par le point dit « critique » de ce corps : au point critique, on observe un phénomène appelé « opalescence critique », qui correspond à un état qui ressemble à un brouillard, et qui n'est ni un liquide ni un gaz, mais un état intermédiaire de transition entre ces deux phases.

2) Lors d'une *transition de phase du premier ordre*, on peut parfois observer un phénomène d'hystérésis, ce qui signifie que la transition de la phase de basse température à la phase de haute température n'a pas lieu à la même température que la transition réciproque. Ceci permet notamment d'expliquer le phénomène connu de longue date sous le nom de

⁶ Cet article en allemand a été traduit ultérieurement en anglais sous le titre "Phase transitions in the usual and generalized sense, classified according to the singularities of the thermodynamic potential".

« surfusion » : en manipulant précautionneusement, il est possible d'obtenir de l'eau liquide dite « surfondue », c'est-à-dire qui reste liquide à une température inférieure à 0°C, à la pression atmosphérique. Au contraire, une *transition de phase critique* ne présente aucun phénomène d'hystérésis : la transition se produit exactement à la même température que l'on vienne des basses ou des hautes températures ; on dit parfois qu'il s'agit d'une transition parfaitement réversible.

Notons enfin qu'une transition de phase peut se manifester dans d'autres cas que celui de phases en volume. Nous allons ainsi nous pencher désormais sur un cas de transition de phase de surface, qui a été l'objet de ma thèse : la « transition de mouillage ».

Transition de mouillage

En 1977, le physicien états-unien d'origine allemande John Cahn (1928-2016), dans un article de physique théorique fondateur (du domaine de l'étude des transitions de mouillage), intitulé “Critical point wetting⁷” (Cahn, 1977), effectue le lien entre les travaux de 1805 de Young sur les interfaces et l'étude, beaucoup plus récente, des transitions de phase critiques (Landau, Lifshitz, 1967). Cahn montre théoriquement qu'en augmentant la température d'un système S/L/V caractéristique des phénomènes de mouillage, on passe d'un état de *mouillage partiel* à un état de *mouillage complet*, selon une transition de phase de surface appelée « transition de mouillage ».

La *transition de mouillage* ainsi définie correspond donc, lors d'une augmentation de la température d'un système composé d'un substrat S et de deux phases L et V, au passage de l'état de *mouillage partiel* de la phase L sur le substrat S, caractérisé par un film de mouillage microscopique (coexistant avec une goutte de phase L qui ne s'étale pas), à l'état de *mouillage complet* de la phase L sur le substrat S, caractérisé par un film de mouillage macroscopique. Cette transition s'accompagne donc d'une augmentation (ou divergence) de l'épaisseur du film de mouillage.

Il existe une expérience quotidienne très banale dans laquelle se manifeste une telle transition de mouillage. Lorsque l'on dépose une goutte d'huile sur une poêle à frire en téflon, à température ambiante, la goutte ne s'étale pas et demeure sous forme de goutte. On a alors

⁷ Le terme *wetting* est la traduction anglaise du terme français « mouillage ».

affaire à un état de *mouillage partiel* de l'huile sur le téflon. Lorsque l'on augmente la température de la poêle, on observe un étalement de la goutte, et l'on aboutit ainsi à un état de *mouillage complet* de l'huile sur le téflon. Il est donc possible de réaliser très facilement une *transition de mouillage* dans sa cuisine !

Dans son article de 1977, Cahn étudie théoriquement les conditions d'existence d'une telle transition de mouillage. Il prétend démontrer que tout système de deux phases fluides L et V en contact avec une troisième phase inerte S subit une transition de mouillage lorsque la température augmente. Par « phase inerte », il désigne toute phase qui n'est pas de même nature moléculaire que les deux autres phases. Cette démonstration de l'existence d'une transition de mouillage quel que soit système S/L/V considéré a été depuis invalidée, mais elle a suscité de nombreuses recherches théoriques et expérimentales. Un autre aspect de l'article de Cahn est le développement d'une théorie phénoménologique de la transition de mouillage à partir d'analyses graphiques, qui est encore utilisée aujourd'hui.

La transition de mouillage entre l'état de *mouillage partiel* et l'état de *mouillage complet* se produit à une température T_w (de l'anglais *wetting*). Le *mouillage partiel* correspond à l'existence d'un film microscopique (de quelques molécules d'épaisseur, en coexistence avec une goutte) de phase L à la surface du substrat et le *mouillage complet* à la présence d'un film d'épaisseur macroscopique. Cahn affirme que cette transition est du premier ordre, car elle s'accompagne d'une discontinuité dans la dérivée de l'énergie libre de surface, qui correspond précisément à l'épaisseur du film de mouillage (Cahn, 1977). Ceci est confirmé expérimentalement dès 1980 : à la température de la transition de mouillage, on observe un saut dans l'épaisseur du film de mouillage, qui passe de quelques dixièmes de nanomètres à une épaisseur macroscopique de l'ordre du micron (Moldover, Cahn, 1980). En 1996, au Laboratoire de physique statistique de l'École normale supérieure, un an avant le début de ma thèse, dans l'équipe de recherche où j'ai effectué celle-ci de 1997 à 2000 – équipe dirigée par les physiciens Jacques Meunier (aujourd'hui à la retraite) et Daniel Bonn (aujourd'hui professeur de physique à l'Université d'Amsterdam), qui furent mes directeurs de thèse –, une transition de mouillage du second ordre (ou critique) est mise en évidence expérimentalement : l'épaisseur du film de mouillage d'un alcane (le pentane, qui possède cinq atomes de carbone) sur l'eau augmente progressivement avec la température (Ragil, Meunier, Broseta, Indekeu, Bonn, 1996). Il apparaît ainsi qu'une transition de mouillage peut être du premier ordre ou du second ordre, selon le système considéré.

Les transitions de mouillage des alcanes sur l'eau

Mes travaux de thèse ont consisté à dégager une cohérence de ces observations expérimentales contradictoires en étudiant le comportement de mouillage de divers alcanes sur l'eau (Bertrand, 2000). Il s'agissait ainsi de contribuer à une meilleure compréhension du lien complexe entre interactions entre interfaces et transitions de mouillage, à partir d'études expérimentales du mouillage des alcanes sur l'eau et de considérations théoriques (en thermodynamique et en physique statistique).

Les alcanes sont les principaux composants chimiques du pétrole (parmi une multitude d'autres molécules organiques). On les classe généralement en fonction du nombre d'atomes de carbone qu'ils contiennent, en passant du méthane (un atome de carbone) au butane (quatre atomes de carbone) – qui sont à l'état gazeux dans les conditions de température et de pression atmosphériques –, puis du pentane (cinq carbones), à l'hexane (six carbones), à l'heptane (sept carbones) ou encore à l'octane (huit carbones) – qui sont à l'état liquide dans les conditions atmosphériques. L'octane, par exemple, est bien connu des ingénieurs qui travaillent sur l'essence, dans la mesure où ils utilisent l'indice d'octane pour caractériser certaines performances des carburants : l'essence dite « sans plomb 95 » est nommée ainsi car elle a un indice d'octane de 95.

La compréhension des phénomènes de mouillage des alcanes sur l'eau a potentiellement un intérêt pour l'amélioration du rendement d'extraction du pétrole, dans la mesure où une grande partie des gisements pétrolifères sont composés de roches poreuses dont la surface est entièrement recouverte d'un film d'eau liquide (provenant des nappes phréatiques situées sous la roche). Dans ces gisements, le pétrole est en contact avec l'eau, et pas directement avec la roche. Mais la récupération du pétrole est loin d'être la seule application industrielle potentielle des phénomènes de mouillage des alcanes sur l'eau. Le mouillage est également un phénomène important dans le domaine de l'environnement, qu'il s'agisse de l'étude des processus de pollution des sols par des hydrocarbures ou d'étalement du pétrole sur l'eau de mer après une marée noire. Plus généralement, en dehors du cas particulier du mouillage des alcanes sur l'eau, les phénomènes de mouillage interviennent dans de nombreuses applications technologiques. À titre d'exemples, citons l'étalement d'une peinture ou d'une encre sur un substrat solide, par exemple dans le cas du fonctionnement d'une imprimante à jet d'encre. Les phénomènes de mouillage sont également impliqués dans des thèmes de recherche biologiques, notamment en

ce qui concerne l'adhésion de membranes cellulaires, et en particulier l'adhésion des globules rouges entre eux.

Une grande part des expériences de ma thèse a consisté à déterminer l'épaisseur des films de mouillage de divers alcanes (ou mélanges d'alcanes) sur des solutions aqueuses, dans différentes conditions de pression et de composition chimique de ces solutions aqueuses, et à suivre l'évolution de cette épaisseur en fonction de la température du système considéré. Cette détermination expérimentale a été réalisée à l'aide d'un ellipsomètre en réflexion à modulation de phase, conçu plus de dix ans auparavant par l'un de mes deux directeurs de thèse, Jacques Meunier (Meunier, 1984).

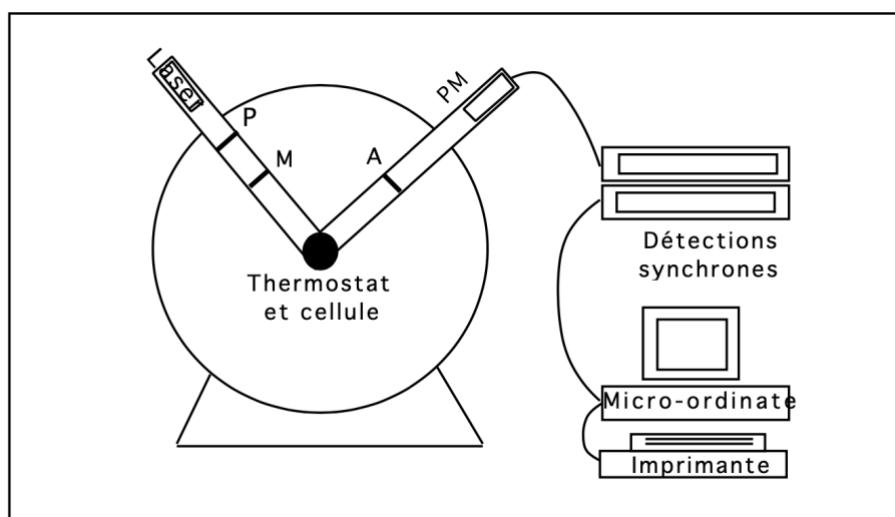


Figure 2 : représentation schématique de l'ellipsomètre utilisé. P représente un polariseur, M un modulateur de phase, A un analyseur et PM un photomultiplicateur relié à un système de détection (source : Bertrand, 2000).

L'ellipsométrie est une technique optique d'analyse de surface, utilisée pour caractériser une interface ou un film (de mouillage) entre deux phases. Cette technique repose sur l'analyse du changement d'état de polarisation d'un faisceau de lumière polarisée, après réflexion sur l'interface ou le film en question (Azzam, Bashara, 1977). L'ellipsométrie, dont le principe a été découvert il y a plus d'un siècle (Drude, 1887), a connu un essor, à partir des années 1980, grâce à l'utilisation des micro-ordinateurs et à la commande électronique des moteurs, qui ont permis l'automatisation et l'optimisation des mesures. Les principaux atouts de cette technique sont son caractère non destructif, qui autorise des mesures *in situ*, sa sensibilité, qui permet de mesurer des épaisseurs jusqu'à une fraction de couche moléculaire, ainsi que la possibilité de suivre la croissance d'un film en temps réel. L'ellipsométrie s'est révélée particulièrement efficace lors de l'étude des interfaces entre deux liquides et des films de mouillage (Bonn,

1993). J'ai donc utilisé cette technique instrumentale pour l'étude expérimentale des transitions de mouillage. Le montage expérimental (figure 2) consistait en un support vertical circulaire métallique (d'environ 1,5 m de diamètre) sur lequel étaient fixés une source de lumière monochromatique (laser Hélium-Néon, longueur d'onde de 632,8 nm), un polariseur (polarisation de la lumière à 45° du plan d'incidence), un modulateur de phase, un analyseur, un photomultiplicateur et un système de détection. Pour effectuer des mesures ellipsométriques à température variable, il était indispensable d'immerger la cellule contenant le système à étudier dans un thermostat (en laiton) muni de fenêtres d'observation et relié à un bain d'eau, dont la température pouvait être maintenue constante avec une précision supérieure à 0,1°C, dans une gamme de température allant d'environ 5°C à 80°C.

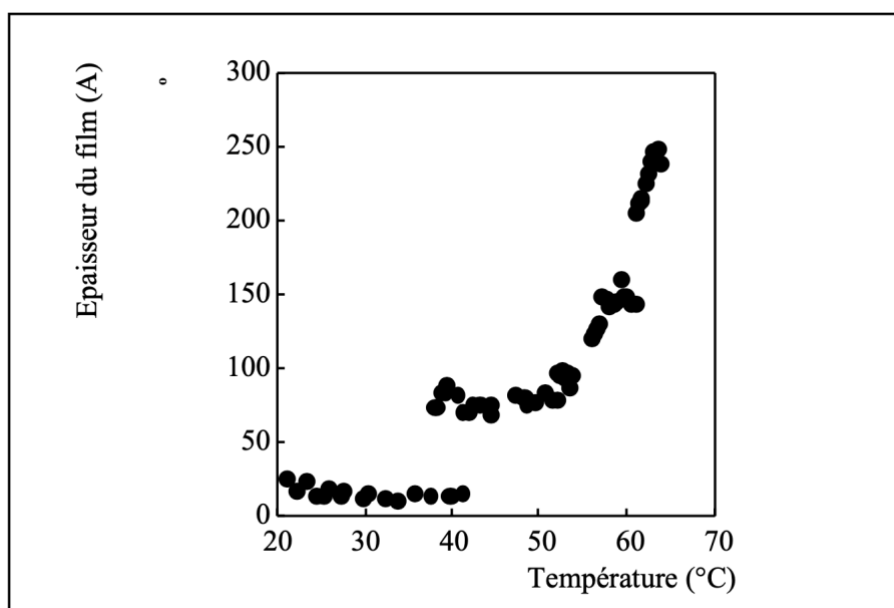


Figure 3 : mesure de l'évolution avec la température de l'épaisseur (en Angströms) d'un film de mouillage d'hexane sur de l'eau salée (source : Bertrand, 2000).

Une expérience complète d'observation ellipsométrique de transition de mouillage d'un alcane (ou d'un mélange d'alcane) sur une solution aqueuse nécessite des manipulations longues et méticuleuses. Le temps requis pour obtenir la courbe d'évolution de l'épaisseur du film de mouillage en fonction de la température est de l'ordre de quatre à six mois. La figure 3 représente cette évolution dans le cas du mouillage de l'hexane sur une solution aqueuse de chlorure de sodium (NaCl), lors d'une augmentation (de 20°C à 65°C) puis d'une diminution (de 65°C à 20°C) de la température du système. Chaque point de cette courbe expérimentale nécessite environ deux-trois jours d'observations, afin d'attendre l'équilibre thermodynamique.

Au cours d'une augmentation de température, on observe, avec ce système, la succession de deux transitions de mouillage. La première transition, qui a lieu autour de la température $T_{w1} = 42^{\circ}\text{C}$, se manifeste par un saut de l'épaisseur du film de mouillage, qui passe d'une dizaine d'Angströms (environ 1 nanomètre) à une centaine d'Angströms (environ 10 nanomètres). Il s'agit sans équivoque d'une transition de mouillage du premier ordre, caractérisée par une discontinuité de l'épaisseur du film et par un phénomène d'hystérésis : la discontinuité ne se produit pas à la même température lors de l'augmentation de température (saut d'épaisseur vers 42°C) et de la diminution de température (saut d'épaisseur vers 36°C). Au contraire, la seconde transition de mouillage mise en évidence est une transition du second ordre (ou critique) : la divergence de l'épaisseur du film (jusqu'à une épaisseur de 25 nm ou plus) se produit aux alentours de $T_{w2} = 65^{\circ}\text{C}$, aussi bien pour des températures croissantes que décroissantes (et donc sans hystérésis).

J'ai donc mis en évidence expérimentalement, dans le cas de l'hexane sur de l'eau salée, la succession de deux transitions de mouillage dans le même système. Cela a permis de conférer une cohérence aux observations antérieures, *a priori* contradictoires, de transitions de mouillage du premier ordre ou du second ordre selon les systèmes considérés.

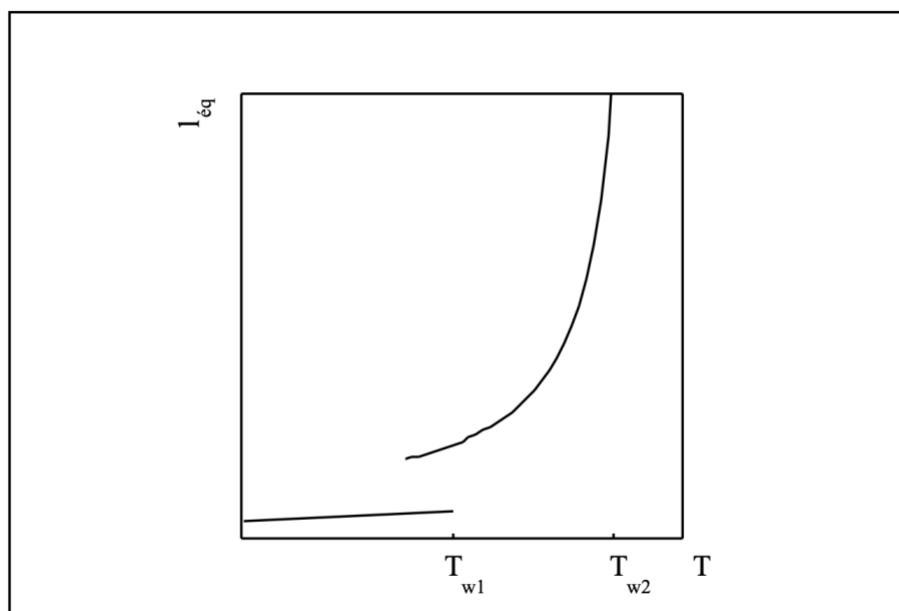


Figure 4 : allure théorique de l'évolution de l'épaisseur d'équilibre (l_{eq}) du film de mouillage au cours de la séquence de deux transitions de mouillage d'un alcane sur une solution aqueuse ; T_{w1} et T_{w2} sont les températures respectives des transitions de mouillage du premier et du second ordre (source : Bertrand, 2000).

Sur le plan théorique j'ai utilisé la théorie de Lifshitz des interactions entre interfaces (Lifshitz, 1955) et modifié la théorie de Cahn des transitions de mouillage, en collaboration avec les physiciens théoriciens britannique Harvey Dobbs et belge Joseph Indekeu (Bertrand, Dobbs, Broseta, Indekeu, Bonn, Meunier, 2000). Nous avons ainsi montré que ces approches théoriques permettaient de prédire la succession de deux transitions de mouillage (figure 4), conformément aux résultats expérimentaux obtenus.

À basse température, le système est dans un état de mouillage partiel (film de mouillage microscopique), et à haute température dans un état de mouillage complet (film macroscopique). Aux températures intermédiaires, comprises entre T_{w1} et T_{w2} , le système est dans un état original, caractérisé par la coexistence d'une goutte d'alcane qui ne s'étale pas et d'un film de mouillage d'alcane d'une dizaine de nanomètres d'épaisseur – on parle de film *mésoscopique*. Nous avons décidé d'appeler cet état de mouillage particulier « mouillage complet frustré », dans la mesure où il correspond à un état de mouillage complet que l'interaction attractive entre les deux interfaces qui bordent le film mésoscopique empêche de se développer pleinement. La transition (critique) de l'état de *mouillage complet frustré* à l'état de mouillage complet correspond alors au passage de l'interaction entre les interfaces d'une situation attractive à une situation répulsive.

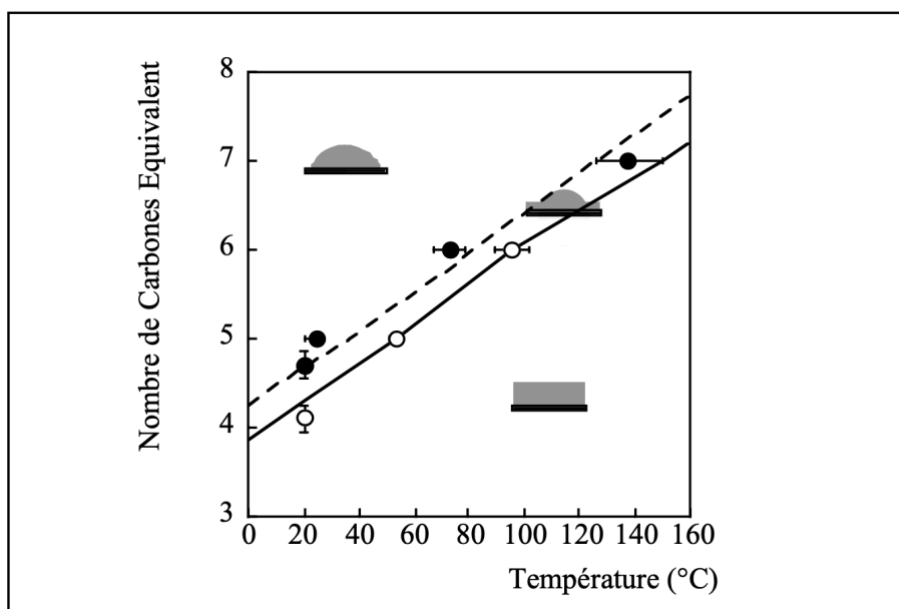


Figure 5 : diagramme expérimental et théorique de mouillage des alcanes purs et des mélanges d'alcanes sur l'eau en fonction de la température et du nombre de carbones de l'alcane ou du mélange d'alcanes ; la droite en traits pointillés correspond aux prédictions théoriques des températures de transition de mouillage du premier ordre et la courbe en trait plein à celles des températures de transition de mouillage critique (source : Bertrand, 2000).

J'ai réalisé le même type d'expérience avec d'autres alcanes (pentane, heptane) et avec des mélanges d'alcanes (de butane et de pentane). Cela m'a permis de réaliser un diagramme complet de mouillage des alcanes sur l'eau (figure 5). Il s'agit d'une cartographie des états de mouillage des alcanes (et mélanges d'alcanes) sur l'eau en fonction de deux paramètres : la température et le nombre de carbones de l'alcane (ou du mélange) considéré. Dans le cas d'un mélange de deux alcanes, on considère que le nombre de carbones équivalent correspond à un nombre de carbones intermédiaire entre celui de chacun des deux alcanes considérés (selon leurs proportions relatives dans le mélange).

Ce diagramme de mouillage des alcanes (et des mélanges d'alcanes) sur l'eau est l'un des résultats importants et originaux de ma thèse. Il permet de connaître l'état de mouillage de n'importe quel mélange d'alcanes sur l'eau à toute température comprise entre 0°C et environ 150°C. Dans la région de basse température et de grand nombre de carbones, il s'agit d'un état de *mouillage partiel*. Dans la région de haute température et de faible nombre de carbones, il s'agit d'un état de *mouillage complet*. Dans la zone intermédiaire (une bande diagonale croissante du diagramme de la figure 5), on trouve un état de *mouillage complet frustré* (représenté par le petit symbole situé entre les deux courbes apparentes sur le diagramme). La droite en traits pointillés sur la figure 5 correspond aux prédictions théoriques, effectuées à l'aide de la théorie de Cahn modifiée, pour les températures de transition de mouillage du premier ordre. La courbe en trait plein sur ce même diagramme correspond aux prédictions théoriques, à partir de la théorie de Lifshitz des interactions entre interfaces, pour les températures de transition de mouillage du second ordre (ou critique). On constate sur ce diagramme de mouillage que les résultats expérimentaux obtenus sont en bon accord avec les prédictions théoriques (Bertrand, 2000).

D'autres situations de mouillage un peu plus subtiles ont été considérées pendant ma thèse, mais je ne les mentionnerai pas dans ce mémoire (Bertrand, 2003). Après ma thèse, j'ai continué à consacrer mes recherches à l'étude expérimentale et théorique des interactions entre interfaces, mais dans des situations plus diversifiées et parfois nettement plus complexes. Certains cas alors étudiés sont l'objet du paragraphe suivant.

3. Interactions entre interfaces plus complexes

Au cours de ma thèse, toutes les interfaces inertes considérées concernaient des phases liquide ou gaz. Après ma thèse, je me suis penché sur des types différents d'interfaces (inertes ou pas) plus complexes, en étudiant la physique des particules colloïdales. Au cours de mon stage postdoctoral au Centre de recherche Paul Pascal (unité propre de recherche du Centre national de la recherche scientifique, ou CNRS) à Bordeaux (2000-2001), il s'agissait d'interfaces inertes en mouvement, et de phénomènes de blocage (*jamming* en anglais) dans des flux de particules solides anisotropes en suspension dans l'eau (Bertrand, Bibette, Schmitt, 2002). Je me contenterai ici d'aborder des études d'interfaces au repos, c'est-à-dire à l'équilibre thermodynamique, entreprises à partir de la fin de l'année 2001, en tant qu'attaché temporaire d'enseignement et de recherche (ATER) puis maître de conférences de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris, ou ESPCI Paris, à partir de 2003.

Notion de colloïde

Un colloïde est une dispersion de deux phases non miscibles l'une dans l'autre, la phase dispersée ayant une taille caractéristique comprise entre 1 nanomètre (environ) et 1 micron (environ).

Il existe toute une typologie (et une nomenclature associée) de colloïdes en fonction de la nature physique des deux phases non miscibles en question. Ainsi, lorsqu'il s'agit d'une phase liquide dispersée dans une autre phase liquide, on parle d'une « émulsion ». Un exemple courant d'émulsion est le lait, qui est une dispersion de gouttelettes d'huile dans de l'eau. De même, la vinaigrette est une dispersion de gouttelettes d'huile dans une solution aqueuse (le vinaigre). La dispersion d'une phase liquide sous forme de gouttelettes dans un gaz est appelée « aérosol ». C'est par exemple le cas des nuages. Les principaux systèmes auxquels je me suis intéressé de 2001 à 2009 sont des dispersions de particules solides dans un liquide, dénommées « suspensions », ou encore « suspensions colloïdales ».

Interactions entre interfaces inertes chargées

Les systèmes que j'ai étudiés après ma thèse sont donc des suspensions de particules colloïdales sphériques dans des solutions aqueuses. Les interfaces pertinentes se situent alors entre un solide (la particule en suspension) et un liquide (la solution aqueuse environnante).

Dans ces conditions, l'eau ayant une forte tendance à dissocier les molécules en entités moléculaires possédant des charges électrostatiques (des ions), les surfaces solides considérées sont toujours chargées. En plus des interactions entre molécules et entre interfaces décrites au paragraphe précédent (les interactions stériques et les interactions de van der Waals), il est donc nécessaire de prendre en compte les interactions électrostatiques entre interfaces inertes chargées.

Les interactions électrostatiques entre surfaces de particules colloïdales chargées (avec toutes une charge de même signe) en suspension dans l'eau sont toujours répulsives. L'intensité de ces interactions répulsives entre interfaces inertes solide/liquide chargées dépend de la charge de surface des particules (que l'on peut déterminer expérimentalement) et de la quantité d'espèces ioniques (fixée par l'expérimentateur) dans la solution aqueuse.

Particules colloïdales super-paramagnétiques

Les particules colloïdales sphériques – renfermant des nanoparticules d'oxyde de fer dans une matrice organique solide – utilisées pendant une grande partie des recherches que j'ai encadrées entre 2002 et 2006, avaient en outre des propriétés magnétiques, que je vais présenter brièvement. Je m'appuie ici principalement sur les travaux de DEA (Diplôme d'études approfondies, ancêtre de l'actuelle deuxième année de Master) et de doctorat (2003-2006) de Laetitia Cohen-Tannoudji, première doctorante que j'ai dirigée quasiment seul (Cohen-Tannoudji, 2006), bien que n'ayant soutenu ma première habilitation à diriger des recherches qu'en 2007 (Bertrand, 2007).

La taille de ces particules colloïdales sphériques – de 200 nanomètres à un micron de diamètre selon les cas – a été choisie afin qu'il soit possible de les visualiser en microscopie optique, tout en restant dans l'échelle de taille colloïdale (qui implique certaines propriétés thermodynamiques spécifiques). Les particules en question sont dites « super-paramagnétiques ». Le terme « paramagnétique » signifie que ces particules acquièrent une aimantation uniquement en présence d'un champ magnétique extérieur (noté **B**) : en l'absence de champ magnétique, elles se comportent comme n'importe quelles particules solides, alors que sous champ magnétique, elles se comportent comme des aimants. Dans ce dernier cas, leur aimantation est beaucoup plus grande que celle d'un matériau paramagnétique classique (comme le cuivre ou la plupart des métaux non ferreux), d'où le préfixe « super ». Autrement dit, ces particules *super-paramagnétiques* répondent à un champ magnétique **B** avec une

susceptibilité magnétique χ (grandeur sans unité qui caractérise la faculté d'un matériau à s'aimanter sous un champ magnétique) proche de 1, ce qui est à comparer à la valeur de celle des corps les plus paramagnétiques, soit $\chi \approx 10^{-3}$ pour le nitrate d'holmium III, par exemple.

Afin de mesurer précisément la susceptibilité magnétique des particules colloïdales utilisées, et de comprendre son origine à l'échelle nanométrique, nous avons mis en place une collaboration avec le physicien Paul Fannin, du *Department of Electronic and Electrical Engineering* du *Trinity College*, à Dublin, dans le laboratoire duquel L. Cohen-Tannoudji et moi avons effectué un séjour de recherches. Nous avons ainsi pu caractériser en détail les différentes particules utilisées entre 2002 et 2006 (Fannin, Cohen-Tannoudji, Bertrand, 2006).

Pour étudier les interactions entre interfaces « particule colloïdale / eau », nous avons mis à profit le fait que les particules magnétiques considérées s'auto-organisent sous forme de chaînes linéaires en présence d'un champ magnétique $\mathbf{B}$. Ces chaînes se redispersent immédiatement sous forme de particules individuelles lorsque le champ est interrompu, sauf si des liens adhésifs permanents sont apparus entre particules adjacentes le long d'une chaîne. La méthode d'étude des interactions colloïdales entre particules magnétiques consiste donc à suivre le nombre de liens permanents « particule – particule » en fonction du temps passé sous champ magnétique (Cohen-Tannoudji, Bertrand, Bressy, 2005).

Le suivi de la cinétique d'adhésion (permanente) entre interfaces est réalisé par analyse d'images sur des particules super-paramagnétiques suffisamment grosses, d'environ 1 micron de diamètre. Le système à étudier est placé sous un champ magnétique $\mathbf{B}$ à une température contrôlée et pendant un temps d'incubation donné. Après arrêt du champ, l'échantillon est observé au microscope optique, et la somme des longueurs des chaînes persistantes est déterminée avec un logiciel d'imagerie. Le rapport entre cette longueur totale et le diamètre des particules donne le nombre de liens adhésifs permanents « particule – particule ». Cette procédure est répétée pour différentes durées d'incubation sous champ magnétique, ce qui permet de construire la cinétique du processus d'adhésion interfaciale étudié.

Interactions entre interfaces inertes recouvertes de polymères

Les particules magnétiques considérées ici peuvent être recouvertes d'une couche de polymères organiques (non biologiques). Un polymère organique est une macromolécule organique de masse moléculaire très supérieure à la masse des molécules organiques simples

usuelles. Cette macromolécule est obtenue, à l'issue d'une réaction de polymérisation, par addition d'un grand nombre de molécules identiques (appelées « monomères »), attachées les unes aux autres par des liaisons chimiques (dites aussi covalentes). Selon les conditions expérimentales concernées, les couches de polymères peuvent engendrer deux types d'interactions entre les surfaces des particules colloïdales qu'elles recouvrent.

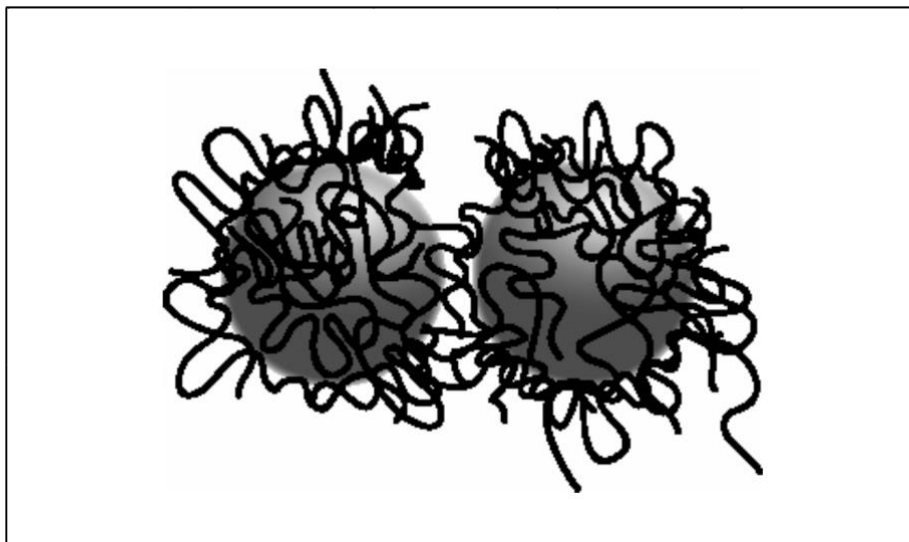


Figure 6 : représentation schématique de l'interaction attractive de pontage par des polymères entre deux particules colloïdales (source : Cohen-Tannoudji, Bertrand, Bressy, 2005).

Lorsque l'équilibre d'adsorption des polymères à la surface des particules est atteint, les interactions dominantes entre les interfaces colloïdales considérées sont des répulsions stériques d'origine entropique. Cela signifie que les particules recouvertes de polymères ont tendance à s'éloigner les unes des autres, afin d'éviter que les chaînes de polymères adsorbées sur des particules différentes ne s'interpénètrent, et maximiser ainsi l'entropie du système, conformément au second principe de la thermodynamique (Clausius, 1865, 1868). Au contraire, lorsque l'équilibre d'adsorption des polymères sur les particules colloïdales n'est pas atteint, les interactions dominantes entre particules sont des interactions attractives, dites « de pontage » : les macromolécules ont tendance à s'adsorber à la surface de deux particules voisines, et à créer ainsi des « ponts », qui relient ces deux particules de façon (quasiment) irréversible (figure 6). C'est à ce second cas de figure que nous nous sommes intéressés en 2002-2003, dans le cadre du DEA de L. Cohen-Tannoudji. À l'aide des particules colloïdales magnétiques précédemment décrites, nous avons ainsi pu étudier théoriquement et expérimentalement la cinétique de cette interaction de pontage par des polymères entre interfaces, ainsi que les conditions expérimentales qui la favorisent ou l'inhibent (Cohen-Tannoudji, Bertrand, Bressy, 2005).

Reconnaissance moléculaire entre molécules biologiques

Lorsque l'on considère des molécules biologiques, il existe un autre type d'interaction entre molécules, qui ne relève ni des interactions physiques déjà évoquées ni des liaisons covalentes caractéristiques des réactions chimiques. En effet, certaines molécules biologiques ont la particularité de « se reconnaître » de façon spécifique pour former un complexe moléculaire réversible, dont l'existence (transitoire) est à l'origine d'une multitude de phénomènes biologiques, métaboliques notamment. Lorsque deux molécules se reconnaissent ainsi, on parle, de façon générique, d'« interaction ligand-récepteur ». De façon arbitraire, l'une des deux molécules est qualifiée de *ligand* et l'autre de *récepteur*. La métaphore communément admise en biologie moléculaire est celle de la complémentarité entre une clef (le *ligand*) et une serrure (le *récepteur*). Cette interaction moléculaire est dite « spécifique » : un ligand particulier ne peut interagir qu'avec un récepteur *spécifique*, de même – pour poursuivre la métaphore mentionnée – qu'une clef n'ouvre généralement qu'une seule serrure.

Un exemple très courant de reconnaissance moléculaire ligand-récepteur concerne l'interaction entre un *antigène* (le ligand) et un *anticorps* (le récepteur). On appelle généralement *antigène* une molécule biologique de petite taille (par exemple une molécule biologique présente dans le pollen) qui se trouve dans un organisme vivant et provient de son environnement extérieur. Un *anticorps* est une macromolécule biologique (en général une protéine) capable de reconnaître spécifiquement un antigène donné, et de déclencher ainsi une réponse immunitaire de l'organisme, en réaction à la présence en son sein de cet antigène.

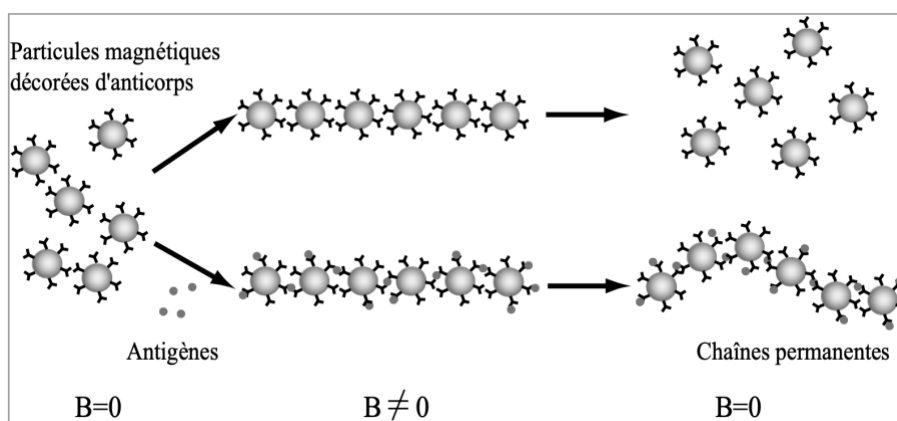


Figure 7 : représentation schématique de l'étude de la cinétique de reconnaissance moléculaire entre un antigène et un anticorps à l'aide de particules colloïdales magnétiques (source : Cohen-Tannoudji, 2006).

Afin d'étudier la cinétique de la reconnaissance moléculaire entre un anticorps et un antigène, nous avons, dans le cadre de la thèse de L. Cohen-Tannoudji, mis à profit la méthode d'étude des interactions entre interfaces colloïdales précédemment présentée (Cohen-Tannoudji, 2006). Nous avons ainsi décoré les particules colloïdales magnétiques avec des anticorps, puis placé ces particules en présence de solutions aqueuses contenant une concentration suffisante de l'antigène spécifique correspondant (en utilisant une forme de l'antigène possédant plusieurs sites de reconnaissance de l'anticorps). Le couple anticorps-antigène que nous avons utilisé est le couple streptavidine-biotine. La streptavidine est une protéine de masse moléculaire de 60 000 g/mol environ. La biotine (ou vitamine H) est une petite molécule de masse moléculaire de 244 g/mol. La liaison non-covalente entre la streptavidine et la biotine est la liaison anticorps-antigène la plus forte recensée à ce jour : elle reste stable pour des conditions très variables en pH , salinité ou température. L'analyse optique du nombre de chaînes permanentes de particules colloïdales obtenues après incubation sous un champ magnétique $\mathbf{B}$ (figure 7), pendant une durée variable, nous a permis de déterminer la cinétique de reconnaissance moléculaire entre la streptavidine et la biotine (Cohen-Tannoudji, Bertrand, Baudry, 2008).

Amélioration de la sensibilité de tests de diagnostic immunologique

Cette méthode mise au point pour étudier la cinétique des réactions antigène-anticorps entre interfaces en regard a été inspirée, entre autres, par l'utilisation de particules colloïdales dans des tests de diagnostic immunologique, dits « tests d'agglutination ». Un test de diagnostic immunologique consiste à détecter la présence d'un antigène (ou d'un anticorps) dans un échantillon biologique, à l'aide de l'anticorps (ou de l'antigène) spécifique capable de le reconnaître. La caractéristique essentielle de la performance d'un test de diagnostic immunologique est sa sensibilité, c'est-à-dire la concentration minimale d'antigène (ou d'anticorps) qu'il est capable de détecter. Cette sensibilité est cruciale lorsqu'il s'agit de détecter le plus tôt possible la présence, dans l'organisme d'un patient, de molécules qui signalent l'existence d'une pathologie chez celui-ci.

Nous avons cherché à déterminer si l'utilisation de particules colloïdales superparamagnétiques en présence d'un champ magnétique était susceptible d'améliorer la conception ou la sensibilité d'un test de diagnostic immunologique, par rapport aux tests classiques d'agglutination utilisant des particules sphériques (non magnétiques) de latex. Dans les tests classiques, les particules de latex doivent être suffisamment stables dans le temps

(c'est-à-dire éloignées les unes des autres par des interactions répulsives entre interfaces) pour ne pas s'agréger en l'absence d'antigène. Mais elles ne doivent pas être « trop » stables, afin d'autoriser les particules à s'approcher suffisamment pour permettre la formation d'un « sandwich » anticorps-antigène-anticorps. Les suspensions colloïdales (de latex) doivent ainsi être dans une situation dite de « limite de stabilité colloïdale ». Cette dernière contrainte disparaît dans le cas des particules super-paramagnétiques, puisque le champ magnétique favorise la rencontre entre particules et la formation du sandwich. Outre ces enjeux de stabilité, le champ magnétique permet de concentrer les particules, et ainsi d'augmenter la probabilité de former un sandwich anticorps-antigène-anticorps. En collaboration avec plusieurs collègues, nous avons montré, dans le cas de la détection de l'ovalbumine (qui joue ici le rôle d'antigène), dans des conditions expérimentales contrôlées, que cette méthode permettait d'améliorer la sensibilité des tests de diagnostic immunologique d'un facteur 100 environ (Baudry, Rouzeau, Goubault, Robic, Cohen-Tannoudji, Koenig, Bertrand, Bibette, 2006).

4. Bilan de treize années de recherche en physique et naissance d'une insatisfaction

Mon activité de recherche en physique expérimentale et théorique, de 1997 à 2009, consacrée à la physique des interactions entre interfaces, s'est d'abord concrétisée par une thèse de doctorat en physique de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), et plus précisément en thermodynamique des transitions de phase, préparée et soutenue à l'École normale supérieure de Paris en 2000, et récompensée en 2001 par la première édition du prix de thèse européen Ilya Prigogine pour la recherche en thermodynamique (remis par Prigogine lui-même). Ces treize années furent aussi ponctuées par la publication d'un ouvrage – la version publiée de ma thèse (Bertrand, 2003) – et de vingt-six publications dans des revues internationales avec comité de lecture, dont dix publications dans la revue de référence pour la physique, *Physical Review Letters*, et par de nombreuses collaborations internationales, notamment avec des chercheurs belges, britanniques, irlandais, allemands ou états-uniens. J'ai également soutenu une première habilitation à diriger des recherches, en 2007, à l'Université Pierre et Marie Curie, dans le domaine de la physique (Bertrand, 2007).

Au cours de ces années de pratique de la recherche en sciences physiques, une insatisfaction profonde est progressivement apparue, et ne m'a plus quitté. Cette authentique frustration a revêtu une double dimension. En premier lieu, ayant rédigé quasiment seul mes premiers articles de recherche, dès 1999, je me suis rapidement rendu compte que la rédaction

d'un article de physique relevait d'un exercice de style stéréotypé et extrêmement contraint (dans lequel excellait l'un de mes deux directeurs de thèse, Daniel Bonn, qui me servit de modèle en la matière), réduisant à la portion congrue le plaisir de l'écriture, duquel mes études m'avaient pourtant donné un aperçu fort séduisant. Mais, plus fondamentalement, j'ai ressenti un malaise grandissant, tout au long de mes treize années de chercheur en physique, vis-à-vis du statut attribué aux résultats scientifiques par la grande majorité de mes collègues (même si je ne prétends pas avoir fréquenté un échantillon représentatif de physiciens ou de physico-chimistes). Une partie importante d'entre eux refusaient purement et simplement de se poser la moindre question d'ordre métaphysique. Les autres, lorsque je les encourageais à aborder ce sujet avec moi, exprimaient la conviction profonde qu'ils découvraient petit à petit l'essence de la réalité, et soulevaient, péniblement mais sûrement, un coin du voile nous empêchant de distinguer spontanément la nature intrinsèque des choses, la texture authentique du *réel en soi*. Pour résumer en quelques mots cette insatisfaction, de plus en plus forte, qui s'était installée en moi, je dirais que j'avais de plus en plus de mal à évoluer dans un microcosme où régnait, soit le mépris pour les interrogations philosophiques, soit, la plupart du temps de façon implicite, le réalisme physique mentionné au début du chapitre.

II. À la croisée des chemins, l'histoire des sciences. Intersections et trahisons (2009-2014)

*Que de temps passé en surface.
Que de temps à ne pas s'encombrer
Du temps et des étoiles tombées.
Que de temps passé en surface.*

(Dominique Ané, Étienne Daho, « En surface », in Étienne Daho, *Les Chansons de l'innocence retrouvée*, 2013)

1. À l'intersection des chemins, une auberge hospitalière

À partir de la fin de la thèse (soutenue en septembre 2006) de Laetitia Cohen-Tannoudji, qui a ensuite été embauchée dans une entreprise de biotechnologies médicales, et dont l'intelligence et l'amitié (qui dure encore aujourd'hui) ont constitué le sel de quatre années de mon activité de chercheur en physique, mon insatisfaction s'est montrée de plus en plus difficile à ignorer. J'avais l'impression viscérale d'évoluer dans un milieu professionnel dépourvu de toute distance critique quant à ses orientations scientifiques de court comme de long terme. Quasiment aucun de mes collègues ne paraissait questionner ses choix de recherche : il s'agissait simplement pour eux de continuer à creuser sans fin le même sillon, sans jamais lever le nez du guidon, et de publier le plus d'articles possible sans se demander à aucun moment pourquoi travailler sur tel sujet et pas sur un autre. De même, jamais le statut (métaphysique) de la réalité des phénomènes étudiés n'était interrogé : quasiment tous les physiciens et physico-chimistes que je fréquentais semblaient développer l'une des deux attitudes (mutuellement exclusives) que j'ai décrites précédemment. Les uns refusaient de se poser des questions philosophiques, perçues comme inutiles. Les autres exprimaient peu ou prou la conviction d'appartenir à une élite intellectuelle, seule capable de percer à jour les mystères de la nature et de parfaire ainsi la connaissance humaine.

Dans le troisième volume de sa série *Cosmopolitiques*, publié en 1997 et intitulé *Thermodynamique : la réalité physique en crise*, la philosophe des sciences belge Isabelle Stengers (née en 1949) écrit, à propos de ce refus, depuis le tournant du XX^e siècle, de la part des physiciens de se poser les « questions » que je viens d'évoquer : « Tout se passe comme s'il y avait eu "décision" de leur tourner le dos, décision de se soustraire aux obligations qu'elles explicitaient » (Stengers, 2003a, 178). Stengers met en scène historiquement cette décision en invoquant la réponse de 1908 du physicien allemand Max Planck (1858-1947) à son collègue autrichien Ernst Mach (1838-1916). Pour la philosophe, Mach prétendait alors que les

physiciens devaient renoncer à connaître la réalité indépendante et se contenter, selon les mots de Stengers, de « formulations qui lient les lois physiques aux pratiques humaines dont elles sont irréductiblement solidaires » (Stengers, 2003a, 14). Dans une conférence donnée à l'université de Leyde, aux Pays-Bas, en 1908 (Planck, 1909), Planck affirmait en retour « la nécessité de la "foi du physicien" en la possibilité d'atteindre une conception unifiée du monde physique » (Stengers, 2003a, 14). Stengers ajoute, à propos de cette réponse de Planck à Mach : « Max Planck fut le premier à mettre explicitement la physique sous le signe non de la rationalité austère mais de la *foi*, devenue composante irréductible de la *vocation* du physicien » (Stengers, 2003a, 14). Pour Stengers, la position de Planck, reprise bientôt par le physicien d'origine allemande Albert Einstein (1879-1955), puis par leurs nombreux successeurs, situe « les obligations du physicien comme se référant à un ailleurs, à un monde dont il faut faire exister l'intelligibilité au-delà des phénomènes, et auquel nul ne peut avoir accès s'il ne partage pas d'ores et déjà le mode d'engagement qui définit le physicien » (Stengers, 2003a, 178). D'ailleurs, Mach répondit dès 1910 à la conception du monde physique de Planck : « les physiciens sont en train de fonder une Église ; ils en sont déjà à utiliser les armes traditionnelles de l'Église. À ceci je réponds : "[...] je renonce avec gratitude à la communauté de la foi. Je préfère la liberté de pensée" » (Mach, 1910, traduit et cité dans Stengers, 2003a, 179).

Pour reprendre le terme de Mach cité par Stengers, je dirais qu'à partir de 2007, je n'avais plus cette *foi* du physicien – si tant est que je ne l'aie jamais eue. Cette année-là, j'ai malgré tout soutenu une habilitation à diriger des recherches à l'Université Paris VI, en physique. Au lendemain de cette habilitation, et même si la discussion scientifique avec le jury s'est avérée passionnante, le cœur n'y était plus. J'étais, en quelque sorte, terriblement frustré d'évoluer dans une communauté professionnelle qui pratique avec conviction les sciences physiques ou physico-chimiques mais qui réfléchit très peu à ses pratiques et à ses choix. Je me sentais de ce fait en décalage avec la plupart de mes collègues, car les questions philosophiques ou sociologiques sur ce qui détermine les orientations, ou même les résultats, de recherche en physique m'intéressaient désormais plus que la pratique de cette recherche. Au bout d'un moment, à la toute fin de l'année 2008, j'en ai donc tiré la conclusion que je m'épanouirais certainement davantage du côté des sciences humaines et sociales et des chercheurs qui réfléchissent à ce qu'implique l'insertion des sciences de la nature dans les sociétés, plutôt que de ceux qui font vivre ces sciences, à la paillasse ou avec leur stylo et leur ordinateur. J'ai donc décidé d'effectuer un changement radical dans ma carrière de chercheur, et de m'orienter vers des thématiques historiennes, philosophiques ou de sciences humaines et sociales, c'est-à-dire de ne plus pratiquer les sciences de la nature mais plutôt de réfléchir à propos de ces sciences.

Je n'ai jamais regretté ce choix, et me suis immédiatement senti à ma place, du point de vue intellectuel, dans mon nouveau domaine. Peut-être que, dans une perspective purement pragmatique, pour effectuer des recherches en sciences physiques, il ne faut pas trop se poser de questions sur ce qui motive réellement ces recherches, parce que, sinon, on risque de suspendre indéfiniment sa pratique et de ne plus produire de résultats scientifiques. Je dirais donc que ce qui, dans mon domaine actuel – l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences –, peut constituer un atout, cette posture assumée de réflexivité, peut à l'inverse se révéler être un handicap pour progresser en tant que chercheur en sciences de la nature.

Dès le début de l'année 2009, j'ai donc décidé de changer d'approches et de méthodes afin d'aborder les sciences de la nature avec davantage de distance critique, ou, pour utiliser un vocable très à la mode dans le monde académique des sciences humaines et sociales, de façon plus « réflexive ». Désireux d'acquérir les outils intellectuels pour entreprendre ces nouvelles recherches, je me suis ainsi orienté vers l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences. Il se trouve que je connaissais la philosophe des sciences Bernadette Bensaude-Vincent, qui habite à quelques pas de chez moi, à Rueil-Malmaison, et que j'ai fréquenté le même collège que sa fille, pendant les mêmes années. C'est donc tout naturellement Bernadette, qui était alors professeure de philosophie des sciences à l'université de Nanterre, que j'ai consultée pour m'orienter dans ce domaine académique de l'histoire des sciences, qui m'était parfaitement étranger. Elle m'a immédiatement conseillé de me rapprocher du Centre Alexandre-Koyré (CAK, unité mixte de recherche ayant pour tutelles le CNRS, l'École des hautes études en sciences sociales, ou EHESS, et le Muséum national d'histoire naturelle, ou MNHN) et de suivre les cours du Master en histoire et sociologie des sciences associé à ce centre de recherche, afin de m'acculturer à mon nouveau domaine de recherche.

J'ai donc suivi en auditeur libre les cours du second semestre de l'année universitaire 2008-2009 du master « Histoire des sciences, technologies, sociétés » de l'EHESS, tout en continuant à enseigner les mathématiques et la physico-chimie à l'ESPCI, et à encadrer mon quatrième et dernier doctorant en physique, Fabrice Springinsfeld, qui a soutenu sa thèse en octobre 2009, et a été immédiatement recruté dans le département de R&D d'un grand groupe industriel spécialisé dans les cosmétiques. Le premier chercheur du CAK (alors dirigé par l'historienne de la psychologie et de la psychiatrie Jacqueline Carroy) que j'ai rencontré, en janvier 2009, alors que nous attendions ensemble dans l'escalier du pavillon Chevreul, au Jardin des Plantes, que quelqu'un vienne ouvrir la porte du troisième étage, où se situait la salle de cours et de séminaire du CAK, est Wolf Feuerhahn, qui avait été recruté comme chargé de

recherches au CNRS en 2008 (Feuerhahn, 2022). À l'issue de ce premier semestre d'acculturation, sur les conseils de la plupart de mes enseignants (et futurs collègues) du master, je me suis officiellement inscrit en deuxième année (M2) de cette formation pour l'année universitaire 2009-2010, afin d'attester par un diplôme ma reconversion professionnelle. Dans le cadre de cette année de M2, en parallèle de mes enseignements à l'ESPCI, j'ai travaillé, pour mon mémoire de recherche, sous la direction de Bernadette Bensaude-Vincent, dans une perspective d'histoire des institutions scientifiques, sur l'histoire du Programme interdisciplinaire de recherche du CNRS en science des matériaux (PIRMAT), qui a existé de 1982 à 1994 (Bertrand, 2010). Une des problématiques que j'ai abordée à cette occasion est l'ambiguïté de l'institution CNRS à l'égard de l'interdisciplinarité, au sein des sciences de la nature, entre une intense promotion dans les discours et une multitude d'obstacles pratiques et institutionnels. Ces recherches ont donné lieu à deux publications dans des revues à comité de lecture, l'une francophone (Bertrand, 2012a), l'autre étant la revue anglophone *Minerva* (Bertrand, Bensaude-Vincent, 2011), et à un chapitre à paraître (Bertrand, 2024) dans un ouvrage collectif sur l'histoire des politiques et des pratiques de l'interdisciplinarité (Feuerhahn, Mandressi, 2024). Je reviendrai en détail sur ce travail au paragraphe V.1.

Depuis 2009, mes recherches s'inscrivent donc dans le domaine de l'histoire, la philosophie, et la sociologie des sciences, et, depuis 2012, en tant que chercheur statutaire du Centre Alexandre-Koyré d'histoire des sciences et des techniques, actuellement dirigé par l'historienne des sciences Anne Rasmussen. Cela fait donc aujourd'hui plus de dix ans que je développe mes recherches au sein de ce laboratoire. J'apprécie tout particulièrement sa dimension intrinsèquement hétéroclite, ou pour le dire en des termes plus triviaux, mais absolument pas péjoratifs sous ma plume, son caractère d'« auberge espagnole ». Il s'agit d'ailleurs probablement là d'une caractéristique générale de l'histoire des sciences aujourd'hui (Feuerhahn, 2022 ; Bertrand, Feuerhahn, 2023c). Je suis en effet convaincu que la richesse la plus essentielle du domaine académique de l'histoire des sciences est sa diversité intellectuelle, qui revêt de nombreuses dimensions : diversité de formations initiales de ses praticiens, de nature des objets d'études, d'approches disciplinaires mobilisées, de périodes historiques étudiées, etc. Je ne crois absolument pas au caractère centrifuge de cette diversité, tant nous sommes tous rassemblés, en tant qu'historiens des sciences, autour de nos enquêtes et de nos réflexions sur la place des sciences, des techniques et des savoirs dans les sociétés humaines, passées comme contemporaines.

2. Trahisons : renégat pour les uns, illégitime pour les autres

*I must not fear.
Fear is the mind-killer.
Fear is the little-death that brings total obliteration.
I will face my fear.
I will permit it to pass over me and through me.
And when it has gone past,
I will turn the inner eye to see its path.
Where the fear has gone there will be nothing.
Only I will remain.*

(Paul Muad'dib, "Litany against fear", in Frank Herbert, *Dune*, 1965)

Ma reconversion professionnelle a été diversement appréciée – on me pardonnera certainement l'euphémisme – dans le petit monde de la physique et de la chimie dont je décidais alors de m'éloigner. La plupart de mes anciens collègues avaient toutes les peines du monde à comprendre comment, quand on avait la chance d'être un bon physicien, reconnu comme tel par ses pairs, et sur le point d'obtenir un poste de professeur des universités en physique, on pouvait avoir l'idée saugrenue de quitter le navire, de surcroît pour s'engager dans une carrière académique où l'on n'aurait plus aucune chance de déposer des brevets ou de fonder des start-ups ! Mes principaux supérieurs hiérarchiques de l'époque (le directeur général de l'ESPCI, le directeur scientifique, et le directeur des études), lors d'une réunion mémorable de janvier 2010, m'ont explicitement dit qu'ils ne comptaient pas « fourvoyer » (*sic*) l'ESPCI dans la recherche en sciences humaines et sociales, contrairement à tant d'autres grandes écoles d'ingénieurs. L'un des trois, toute honte bue, n'hésita pas à me dire : « Ça sert à quoi, franchement, l'histoire des sciences ? » Lors de cette réunion, où j'étais sommé de répondre de mes choix intellectuels, seul face au *triumvirat* de la direction de l'ESPCI, mes interlocuteurs n'avaient que le mot « Science » à la bouche, et on pouvait quasiment entendre la majuscule au début du mot. Pour eux, je désirais tout simplement désertier « La Science » et mon attitude relevait assurément de la trahison. Pendant ces échanges, j'avais l'impression de voir dans leurs yeux le reflet d'un prêtre défroqué qui venait d'annoncer à sa hiérarchie ecclésiastique qu'il quittait les ordres. Jamais dans ma vie professionnelle je n'ai à ce point eu le sentiment de me retrouver en face d'une « Église », pour reprendre le mot de 1910 de Mach, rapporté par Stengers en 1997 et mentionnés dans le paragraphe précédent.⁸ Après deux années de ce qui s'apparentait quasiment

⁸ J'ai bien conscience que la comparaison que je propose ici est potentiellement trompeuse, dans la mesure où la « foi du physicien » évoquée par Stengers n'est pas du même type que la foi religieuse. Mais ce que je souhaite pointer ici est le comportement dogmatique d'une communauté qui ne tolère pas que l'un de ses membres lui tourne le dos.

à une forme de harcèlement moral – la directrice des études adjointe de l'époque m'ayant suggéré de démissionner de mon poste de maître de conférences à plusieurs reprises –, j'ai fini par obtenir le droit, en janvier 2012, d'être rattaché officiellement au Centre Alexandre-Koyré et par bénéficier d'une indifférence bienveillante, à l'issue d'une désagréable période de franche hostilité. La cause de ce dénouement favorable était double : d'une part, ma fiche de poste de maître de conférences mentionnait que je devais effectuer des recherches et des enseignements, mais ne précisait aucunement dans quelle discipline (les enseignants-chercheurs de l'ESPCI ne sont rattachés à aucune section du Conseil national des universités, ou CNU) ; d'autre part, la nouvelle direction de l'ESPCI s'est montrée infiniment plus ouverte intellectuellement que la précédente. Le nouveau directeur (à partir de 2014), Jean-François Joanny, aujourd'hui professeur au Collège de France, en plus d'être un chercheur particulièrement fin et curieux, disposait indéniablement de grandes qualités humaines et d'ouverture intellectuelle, tout comme les deux directrices des études qui se sont succédé dans son équipe de direction, Elisabeth Bouchaud et Véronique Bellosta.

Mais l'incompréhension à l'égard de mon changement d'approches de recherche ne fut pas limitée à mes supérieurs hiérarchiques. Un grand nombre de collègues que je fréquentais depuis des années a considéré mon choix d'orientation avec stupéfaction. Sans prétendre induire des conclusions sociologiques générales de mon seul cas particulier, j'ai été confronté à deux types de réactions de la part de la majorité des physiciens et des chimistes à qui j'ai essayé d'expliquer ma décision. Pour certains d'entre eux, j'avais tout simplement décidé de ne plus faire de « sciences », étant entendu que seules les sciences de la nature peuvent légitimement utiliser ce substantif. L'un d'eux, alors que je le recroisais quelques années plus tard, m'a même dit, sans la moindre animosité ni malice : « Ah, oui, c'est vrai que tu ne fais plus de sciences ! » Ces anciens collègues ne se sont probablement jamais posé explicitement la question correspondante, mais je me demande parfois dans quel abîme de perplexité doit les plonger l'expression, sans aucun doute absurde à leurs yeux, de « sciences humaines et sociales. » La seconde réaction se rencontrait chez ceux qui me posaient des questions précises et voulaient savoir en quoi consistaient mes nouvelles recherches. Lorsque je tentais de leur expliquer que je réfléchissais aux conditions sociales d'émergence des résultats scientifiques, et que j'étais convaincu que les énoncés scientifiques étaient influencés par le contexte socio-historique de leur énonciation, et résultaient souvent de consensus péniblement acquis au sein d'une communauté scientifique, ils me regardaient comme si j'avais absorbé des substances psychotropes, et je décelais parfois même un peu de la compassion que l'on peut éprouver à l'égard de quelqu'un qui a perdu ses esprits. Heureusement, même s'il s'agit d'une petite

minorité, quelques-uns de mes anciens collègues, dont je suis parfois resté proche, ont parfaitement compris mon désir de changer d'objets de recherche et ont même estimé que ces objets pouvaient être aussi intéressants et légitimes que les leurs.

Malheureusement, du côté de ma nouvelle communauté professionnelle, j'ai souvent ressenti que ma légitimité était loin d'être acquise. Certains de mes nouveaux collègues historiens (ou sociologues) des sciences m'ont longtemps regardé avant tout comme un physicien, voire, pour un tout petit nombre d'entre eux, comme un membre du « camp adverse », qui dissimulait probablement des positions fondamentalement positivistes – un crypto-scientiste en quelque sorte. Le fait de ne disposer ni d'un doctorat ni d'une agrégation en histoire, en philosophie ou en sociologie, m'a parfois été reproché, la plupart du temps implicitement, plus rarement par des formulations explicites. En somme, j'étais de temps en temps regardé comme un traître aussi bien dans mon milieu professionnel d'origine que dans celui d'adoption : un renégat chez les physiciens comme chez les historiens des sciences. Toute proportion gardée, dans la mesure où mes conditions matérielles et socio-économiques n'ont jamais été dégradées, cette situation me semble, avec le recul, présenter quelques analogies avec celle que décrit le sociologue franco-algérien Abdelmalek Sayad (1933-1998), directeur de recherches au CNRS (à partir de 1977), assistant puis collaborateur de Pierre Bourdieu (1930-2002), dans son ouvrage posthume *La double absence. Des illusions de l'émigré aux souffrances de l'immigré* (Sayad, 1999).⁹ Je me contenterai, pour leur puissance évocatrice, de citer deux passages de l'introduction de ce livre : « immigration ici et émigration là sont les deux faces indissociables d'une même réalité, elles ne peuvent s'expliquer l'une sans l'autre » (*ibid.*, 15) ; « ces deux discours qui, désormais, se font écho, sont homologues, car ils sont produits en définitive, tous deux, selon les mêmes schémas de pensée et les mêmes catégories (appliqués à des objets symétriques) de perception et d'appréciation ou d'évaluation du monde social et, ici, plus précisément, des mondes respectifs de l'émigration et de l'immigration » (*ibid.*, 22-23).

⁹ Je remercie Wolf Feuerhahn de m'avoir fait connaître cet ouvrage.

3. Une nouvelle impasse ?

*Nous n'avons plus que ça au bout de notre impasse.
Le moment viendra, tout changera de place.*

(Jean-Jacques Goldman, « Il suffira d'un signe », in *Jean-Jacques Goldman*, 1981)

Une fois le master d'histoire et de sociologie des sciences de l'EHESS validé, j'ai consulté un certain nombre des enseignants du master (qui sont devenus mes collègues en 2012, lorsque j'ai été accepté comme chercheur statutaire du Centre Alexandre-Koyré), qui m'ont tous dit qu'ils estimaient que j'étais prêt à entreprendre des recherches en histoire des sciences. Ils m'ont tous déconseillé de me lancer dans une thèse, dans la mesure où je disposais déjà (depuis 2007) d'une habilitation à diriger des recherches. Je me suis alors rapproché de Dominique Pestre, directeur d'études de l'EHESS travaillant au Centre Alexandre-Koyré, dont j'avais particulièrement apprécié les enseignements de politique des sciences, suivis en 2009. Il m'a d'abord proposé de travailler avec lui sur les discours de la Banque Mondiale, et plus précisément d'analyser l'apparition et l'évolution des notions de « participation » et de « démocratie participative » dans les Rapports annuels de cette institution, de 1970 à 2009. J'ai présenté mon étude préliminaire dans le séminaire « Le gouvernement et l'administration des techno-sciences à l'échelle globale » de l'EHESS, au cours de l'hiver 2010-2011. À l'issue de ce premier travail, Dominique Pestre m'a suggéré de m'intéresser, dans le même type d'optique, à une autre institution supranationale, la Commission européenne, alors que lui-même poursuivait (sans m'y associer) l'analyse des discours officiels émanant de la Banque Mondiale, en collaboration avec le chercheur italien en études littéraires Franco Moretti (Moretti, Pestre, 2015).

J'ai donc mené, à partir de 2011, à propos de la Commission européenne, des recherches au confluent entre la politique des sciences, la philosophie politique et l'analyse sémantique de discours. Il s'agissait, en analysant la « littérature grise » de la Commission, de repérer les implicites du discours de la « bonne gouvernance », et notamment la place accordée aux experts scientifiques et techniques dans ce discours. J'ai donc étudié en détail plusieurs textes de la Commission européenne portant sur la notion de gouvernance et mettant en avant l'idée de participation de la société civile aux décisions de politique publique européenne. De 1995 à 2000, un certain nombre de chercheurs universitaires (dont plusieurs juristes) et de fonctionnaires de la Commission européenne se sont penchés, dans le cadre d'un séminaire organisé par la Cellule de prospective de la Commission, sur la question de la gouvernance de

l'Union européenne (ci-après UE). L'une des conséquences les plus visibles de ces réflexions a consisté dans la publication, par la Commission européenne, le 25 juillet 2001, d'un *Livre Blanc* sur la gouvernance européenne (Commission des Communautés européennes, 2001, dénommé ci-après *Livre Blanc*).¹⁰ L'un des objectifs de ce *Livre Blanc* était de présenter une feuille de route pour les réformes à venir des institutions européennes. Dans ce document officiel, fortement publicisé dans tous les États membres de l'UE, étaient notamment énoncés les cinq principes de la « bonne gouvernance » : l'ouverture, la participation, la responsabilité, l'efficacité, et la cohérence. La participation y tenait une place de choix, dans la mesure où elle était présentée comme une condition nécessaire à la mise en œuvre des quatre autres principes.

Mon travail a consisté à analyser les discours sur la gouvernance et sur la participation véhiculés par ce *Livre Blanc* de 2001, et par un long rapport de la Cellule de prospective de la Commission européenne (Schutter, Lebessis, Paterson, 2001), publié la même année, et rassemblant les douze principales contributions (la plupart réécrites pour l'occasion) du séminaire sur la gouvernance dans l'UE (1995-2000).¹¹ À partir de l'examen précis des champs sémantiques employés dans ces textes, je me suis efforcé de mettre en évidence le sens que la Commission donnait aux notions de « bonne gouvernance » et de « participation de la société civile organisée. »¹² Par le biais de nombreuses oppositions entre champs sémantiques, le discours de la Commission construit deux mondes opposés : le monde « moderne », valorisé, heureux et sans conflit, de la bonne gouvernance et de la participation, qui s'éclaire par fort contraste avec le monde dévalorisé, présenté comme suranné, voire archaïque, du gouvernement représentatif.¹³ À l'issue de cette analyse sémantique, j'ai cherché à caractériser plus précisément ce discours de la Commission européenne, que j'ai choisi d'appeler « discours de la gouvernance participative européenne. » Bien que le terme « gouvernance » apparaisse, selon Jean-Pierre Gaudin, dans la langue française, dès le XIII^{ème} siècle (Gaudin, 2002, 10), la notion contemporaine de gouvernance est très délicate à circonscrire, et a été analysée et

¹⁰ Ce texte de 40 pages est accessible en français à l'adresse (consultée pour la dernière fois le 6 février 2023) : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/DOC_01_10

¹¹ Ce texte de 340 pages est accessible en français et en anglais à l'adresse : <https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/26c627a2-0a78-42dc-a8d8-726d9471ffec/language-fr/format-PDF/source-111376981> (consultée pour la dernière fois le 6 février 2023).

¹² Un nombre important d'auteurs de sciences politiques ont étudié les concepts présents dans le *Livre Blanc* et leur déploiement dans les politiques publiques européennes. L'originalité de mon travail réside à la fois dans l'analyse simultanée du *Livre Blanc* et du rapport sur la gouvernance, dans la distance critique adoptée vis-à-vis de ces discours de la Commission, dans le rapprochement entre ces discours et l'idéologie néolibérale, et enfin dans l'examen approfondi des champs sémantiques employés dans ces discours. Parmi les travaux antérieurs sur la gouvernance européenne, on pourra notamment consulter (Georgakakis, Lassalle, 2007).

¹³ Pour une vision plus complète (et non caricaturale) de l'histoire et des principes du gouvernement représentatif, on pourra se reporter à (Manin, 1996).

commentée par de nombreux auteurs.¹⁴ J'ai pour ma part proposé d'interpréter le discours de la gouvernance participative européenne comme l'élaboration d'une façon de gouverner adaptée aux contraintes liées à la recherche de légitimité démocratique de la part de la Commission européenne. Cette recherche de légitimité démocratique exerce des contraintes fortes et nécessite une adaptation du discours de la gouvernance au contexte des institutions et du fonctionnement de l'UE. C'est pourquoi on peut singulariser le discours spécifique de la gouvernance participative européenne, pour lequel j'ai retenu huit caractéristiques :

1) Le « collectif » n'existe pas : la société est une distribution (quasi-infinie) d'intérêts organisés.

2) La légitimité des politiques publiques passe impérativement par une participation de « toutes » les organisations de la société civile, à « tous » les stades de la décision publique.

3) La « rationalité procédurale » est au centre des politiques publiques. Les procédures participatives de décision publique doivent être équitables, et cette équité doit être visible par tous les citoyens.

4) La principale mesure objective de la qualité d'une politique publique est son efficacité, notion principalement appréhendée sur un mode économique.

5) Tous les changements et toutes les réformes sont valorisés car ils engendrent nécessairement une amélioration de la vie en société.

6) L'État social (ou État providence) est intrinsèquement déficient, et la gestion privée est plus efficace que la gestion publique.

7) L'administration occupe une place centrale dans les politiques publiques. La bureaucratie, au périmètre nécessairement très étendu, doit donc être absolument transparente.

8) Les experts scientifiques et techniques jouent un rôle fondamental dans la prise de décision publique. Les qualités indispensables de l'expertise sont l'indépendance et le pluralisme.

Je souhaite revenir brièvement sur la troisième caractéristique : la place centrale de la « rationalité procédurale » et l'importance de l'équité des procédures participatives de prise de décision. Il est important d'insister sur le fait que, plus encore que l'équité ou la justice des procédures, ce sont l'apparence et la visibilité de cette équité (ou de cette justice) qui comptent

¹⁴ Pour Gaudin, l'emploi contemporain du terme « gouvernance » a trois sources d'inspiration très difficiles à démêler : l'analyse universitaire états-unienne des politiques publiques dès les années 1930 (Gaudin, 2002, 29) ; la *corporate governance*, pratiquée dans certaines entreprises aux États-Unis dès l'entre-deux-guerres, et analysée par des économistes états-uniens dans les années 1970 (*ibid.*, 58-59) ; les discours institutionnels de la Banque mondiale dans les années 1980-1990 (*ibid.*, 65-71).

vraiment dans le discours de la Commission. De façon tout à fait remarquable, cette focalisation sur l'équité des procédures participatives occupe aussi une place majeure dans certains travaux du domaine académique dénommé *Science studies*, ou *Science and technology studies* (STS), un domaine interdisciplinaire au croisement de l'histoire, de la sociologie et de l'anthropologie des sciences, sur lequel je reviendrai au paragraphe V.3. Par exemple, l'équité des procédures de participation est une notion centrale dans un célèbre livre français du domaine des STS, publié la même année (2001) que le *Livre Blanc : Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique* (Callon, Lascoumes, Barthe, 2001). Michel Callon et ses deux co-auteurs y défendent la nécessité de construire une « démocratie dialogique » afin d'enrichir la capacité de la démocratie représentative à élaborer des politiques publiques pertinentes dans les domaines à forte composante technique ou scientifique. Les trois auteurs mettent en œuvre des concepts extrêmement proches de ceux promus par le discours de la gouvernance participative européenne. Ainsi, l'« innovation procédurale », qui, selon Callon *et al.*, serait à l'œuvre dans ces espaces de débat public qu'ils nomment « forums hybrides », est un aspect essentiel de leur vision d'une démocratie dialogique. De la même façon que les contributeurs au discours de la Commission, ils privilégient la réflexion sur les « procédures » de consultation et de décision, aux dépens de l'examen des « principes » politiques généraux. En outre, toujours comme dans le discours de la gouvernance européenne, ils insistent sur le *fair effect process* (en anglais dans le texte) : une procédure de prise de décision est définie comme « équitable » (*fair*) si, à son issue, les acteurs concernés sont intimement convaincus que la décision prise est équitable ; le *fair effect process* est précisément le processus psychologique par l'intermédiaire duquel les acteurs acquièrent une telle conviction (Joss, Brownlea, 1999 ; Callon, Lascoumes, Barthe, 2001, 331). Callon et ses collaborateurs ajoutent qu'une telle conviction intime se forme lorsque les intérêts de tous les groupes concernés ont été « pris en considération » – même formule que celle employée dans les textes de la Commission européenne. Les trois auteurs français de STS font même un pas de plus en prétendant démontrer que toute procédure équitable débouche sur des décisions intrinsèquement équitables et efficaces (*ibid.*, 333-340). Selon eux, la « justice substantielle » peut ainsi être réduite à une « justice procédurale » (*ibid.*, 344). En fin de compte, on voit bien les profondes convergences entre ce célèbre ouvrage français de STS sur la « démocratie technique » et le discours de la gouvernance participative européenne.¹⁵

Pour conclure provisoirement sur le discours de la gouvernance participative européenne, il est essentiel de rappeler qu'il émane principalement d'une institution, la

¹⁵ Philip Mirowski a par ailleurs souligné certaines convergences entre l'« école de Paris de la théorie de l'acteur-réseau » (en citant explicitement Michel Callon) et les « tendances néolibérales » (Mirowski, 2011, 65-66).

Commission européenne, dont les membres ne peuvent pas se prévaloir d'une légitimité par le suffrage universel. La principale raison d'être de ce discours est donc d'élaborer un mode de fonctionnement politique où la légitimité démocratique est assurée par l'indépendance (partielle) des bureaucrates, en général, et des commissaires européens, en particulier, à l'égard des personnels politiques élus, et, surtout, par la participation des citoyens (par l'intermédiaire des organisations de la société civile et des experts qui en sont issus). La notion de participation de la « société civile organisée » tient donc une place centrale dans le discours de la gouvernance européenne. Par ailleurs, il apparaît à de nombreuses reprises, dans le discours de la Commission sur la gouvernance participative, que la participation n'engage pas nécessairement une implication réelle dans la prise de décision politique, mais qu'elle se limite souvent à la possibilité, pour les organisations de la société civile, de faire entendre leurs opinions. Les gouvernants (non élus) demeurent alors les principaux détenteurs du droit de prendre les décisions de politique publique. On est ici en quelque sorte dans la métaphore du tribunal, où les gouvernants sont les analogues de juges : ils auditionnent toutes les parties prenantes, pratiquent le contradictoire, puis doivent prendre une décision, justifier leurs choix, et répondre à tous les participants. Il s'agit donc, dans le discours de la gouvernance participative, d'une forme bien particulière de participation, que l'on pourrait nommer « participation procédurale », par opposition à une éventuelle « participation substantielle. » Pour le dire autrement, la participation promue par la Commission est surtout une participation procédurale d'experts scientifiques et techniques, issus de la bureaucratie européenne ou de la société civile organisée, et pas une participation substantielle de citoyens non-experts.

J'ai également examiné les liens étroits entre ce discours de la gouvernance participative européenne et l'idéologie néolibérale. La littérature de sciences politiques des vingt dernières années est particulièrement prolifique au sujet du néolibéralisme, et chaque auteur privilégie, dans ses analyses, un aspect ou un éclairage particulier de cette idéologie.¹⁶ Pour ma part, j'ai choisi d'appréhender le néolibéralisme avec le cadre théorique mis en place par Marcel Gauchet pour déterminer la signification du néolibéralisme en tant qu'idéologie.¹⁷ J'ai choisi de privilégier l'analyse de Gauchet du néolibéralisme car elle s'inscrit à la fois dans une approche de philosophie politique et dans une démarche d'histoire de longue durée, qui s'étend de l'émergence de la « modernité » européenne, marquée notamment par la Réforme protestante,

¹⁶ Sur le néolibéralisme, on pourra aussi se référer, parmi d'autres ouvrages généraux, à (Foucault, 2004), (Harvey, 2007), (Dardot, Laval, 2009), (Mirowski, Plehwe, 2009), (Audier, 2012).

¹⁷ Marcel Gauchet a développé ses analyses du néolibéralisme dans son séminaire hebdomadaire de l'EHESS, de 2007 à sa retraite en 2015. J'ai eu la chance de suivre les cinq dernières années de cet enseignement, dont la plupart des réflexions se retrouvent dans le quatrième volume de la tétralogie *L'Avènement de la démocratie* (Gauchet, 2017).

au début du XVI^e siècle, au triomphe électoral de l'idéologie néolibérale, à la toute fin des années 1970. Une autre singularité de l'approche de Gauchet réside dans la distinction claire entre l'« idéologie néolibérale » (ou « néolibéralisme ») et la « consécration du fait libéral » (Gauchet, 2017, 300). Ce parachèvement du « fait libéral », ou encore du « renversement libéral », est ce que Gauchet appelle aussi « la radicalisation de la modernité » (*ibid.*, 203-210), c'est-à-dire l'approfondissement, en Europe au cours des années 1970, de la structuration autonome de l'établissement humain social, résultant de l'effacement des dernières empreintes de sa structuration religieuse (ou hétéronome).¹⁸ Le parachèvement du fait libéral se manifeste notamment par l'aboutissement de la séparation entre le pouvoir (l'État et le gouvernement) et la société civile (*ibid.*, 313-336). En ce qui concerne la notion d'« idéologie », il s'agit, pour Gauchet, d'une construction intellectuelle destinée à proposer une vision de l'avenir d'une société, et à justifier une politique mise en œuvre pour promouvoir cette vision, à partir d'une analyse du passé de cette société. Une idéologie est donc tout autant une interprétation du passé qu'un programme d'action pour le présent et une vision de l'avenir (Gauchet, 2001).¹⁹

Pour Gauchet, le néolibéralisme est à distinguer du libéralisme du XIX^e siècle, dont il se différencie tout en en revendiquant explicitement l'héritage (Gauchet, 2017, 645-655). Le néolibéralisme est selon lui l'idéologie actuellement dominante du fonctionnement social, économique et politique des sociétés. Il s'agit de l'idéologie « dominante », car elle est, depuis le milieu des années 1970, la plus spontanément « plausible. » Selon Gauchet, elle est hautement plausible car elle semble cohérente avec de nombreux aspects directement appréhendables du fonctionnement contemporain des sociétés occidentales, ce qui revient à dire qu'elle est hautement compatible avec le parachèvement du « fait libéral », bien qu'elle n'en soit qu'une lecture possible. Si les penseurs néolibéraux ont commencé à échafauder leur construction doctrinale dès les années 1930,²⁰ la plausibilité générale de cette idéologie ne se met en place que sous l'impulsion du choc pétrolier de l'automne 1973 (*ibid.*, 25-62), et sa première mise en œuvre concrète s'effectue au Chili, à la suite du coup d'État du 11 septembre 1973 par le général Pinochet (Harvey, 2007, 7-9). Les politiques d'inspiration idéologique néolibérale se répandent ensuite dans tout le monde occidental, dans le sillage des élections de Margaret Thatcher en 1979, en Grande-Bretagne, et de Ronald Reagan en 1980, aux États-Unis (Gauchet, 2017, 63-98). Pour le réduire à son expression la plus épurée, en s'efforçant de ne pas le dénaturer, on peut dire que le néolibéralisme est une idéologie qui prône la réduction du

¹⁸ Ce cadrage théorique est explicité et pleinement développé dans l'ouvrage (Gauchet, 1985).

¹⁹ On trouvera une approche conceptuelle des idéologies très proche de celle de Gauchet dans (Freeden, 1996).

²⁰ L'importance du Colloque Walter Lippmann de 1938 et de la Société du Mont-Pèlerin, groupe de réflexion créé en 1947, est analysée en profondeur dans (Mirowski, Plehwe, 2009).

périmètre de l'État et le remplacement du collectif par l'individu.²¹ Cette idéologie nie en quelque sorte l'existence du collectif et voit la société comme une somme d'individus également libres en interaction. Le néolibéralisme est, à l'origine, une réponse critique systématique au socialisme, qui se déploie sur trois fronts : une critique de la planification, une critique de la régulation keynésienne budgétaire et fiscale, et une critique de la bureaucratie et de la réglementation (*ibid.*, 99-144). Pour l'idéologie néolibérale, il n'existe comme liens entre les êtres que des contrats à avantages mutuels, et le marché est la seule bonne manière de réguler les relations entre les individus. Pour autant, un individu n'ayant pas que des intérêts au sens économique du terme, l'idéologie néolibérale n'est pas qu'un discours économique : le monde néolibéral est un monde de rivaux anthropologiques et pas seulement de concurrents économiques (*ibid.*, 547-560). Il s'agit néanmoins d'un monde dans lequel l'économie est au premier plan, ce en quoi le néolibéralisme se distingue du libéralisme classique. Dans le monde néolibéral, la croissance économique est la fin qui justifie tous les moyens (*ibid.*, 433-470).

À la double lecture de cette rapide présentation de l'idéologie néolibérale et de ma caractérisation du discours de la gouvernance participative européenne, on peut affirmer que ce dernier s'inscrit pleinement dans le sillage du néolibéralisme. Les convergences entre ces deux régimes discursifs sont en effet nombreuses : la centralité de l'individu et la négation du collectif, l'importance du marché, la place essentielle de la notion d'efficacité et de son mode de calcul économique, la conviction que la gestion privée est plus efficace que la gestion publique, ou encore la critique de l'État et de son mode de fonctionnement, et plus particulièrement de l'État social.

Néanmoins, il existe un point de profonde divergence entre le discours de la gouvernance participative et l'idéologie néolibérale. En effet, la critique viscérale de la bureaucratie et de la réglementation – caractéristique essentielle du néolibéralisme – ne correspond que très partiellement au contenu du discours de la gouvernance participative européenne. Certes, dans le *Livre Blanc*, on peut lire : « ce que les gens veulent avant tout, c'est moins de bureaucratie au niveau national – peu leur importe qu'elle trouve son origine dans des décisions européennes ou nationales » (*Livre Blanc*, 27). En revanche, et c'est là une grande différence avec l'idéologie néolibérale, le discours de la gouvernance européenne ne formule

²¹ Des divergences d'interprétation existent, entre Gauchet et d'autres auteurs, à propos de la nature et de la place de l'État dans l'idéologie néolibérale. Foucault (2004), ainsi que Dardot et Laval (2009, chapitre 7) et Audier (2012, chapitre 3) accordent une grande importance à l'influence de l'ordo-libéralisme allemand, et de sa défense d'un État fort, sur la version européenne de l'idéologie néolibérale. Pour sa part, Gauchet considère que l'ordo-libéralisme est plutôt un conservatisme libéral, et que l'expérience allemande n'a pas été une source d'inspiration majeure pour les politiques européennes néolibérales mises en place à partir de la fin des années 1970.

pas de véritable critique de fond à propos de la bureaucratie. Il lui reproche parfois son fonctionnement opaque, mais n'entend en rien limiter sa place. Au contraire, et c'est précisément le septième point que j'ai choisi pour caractériser le discours de la gouvernance participative, l'un des objectifs explicites de ce discours est de proposer des solutions pour assurer la légitimité démocratique de la bureaucratie européenne. Concrètement, l'élaboration et la mise en place des politiques publiques européennes requiert une bureaucratie étendue, ce qui exerce une puissante contrainte sur le discours de la gouvernance européenne, qui n'a d'autre alternative que de chercher à renforcer la légitimité de cette bureaucratie.

Dans le même ordre d'idées, la thématique de la préférence pour les experts scientifiques et techniques au détriment du personnel politique – huitième caractéristique du discours de la gouvernance participative – relève *a priori* davantage de l'idéologie socialiste que de l'idéologie néolibérale. En effet, ce thème n'est pas nouveau. Comme l'explique Gauchet, il apparaît dans les démocraties européennes dès la fin du XIX^e siècle. La question se pose en effet lorsque les tenants de la doctrine libérale, triomphante en 1880, s'aperçoivent que, contrairement à leurs prévisions, l'émancipation progressive de la société civile a provoqué une augmentation sans précédent des fonctions de l'État et de l'administration. Constatant cette présence nécessaire de l'administration, ils entendent « la mettre à l'abri des interventions arbitraires des politiciens, sans la soustraire à tout contrôle » (Gauchet, 2007, 182). Sous l'impulsion de théoriciens socialistes, dans les années 1880, puis du juriste Léon Duguit, dans les années 1900, cristallise alors la notion de « service public. » Gauchet écrit à ce propos : « c'est un nouvel instrument de la collectivité qui se découpe dans le paysage sous les traits de cet appareil d'exécution [...] Sa neutralité et son impartialité s'opposent à l'esprit partisan des élus ; [...] il repose sur la compétence technique au lieu d'être abandonné à l'amateurisme des politiciens » (*ibid.*, 183).

De la même façon, le discours de la gouvernance européenne accorde beaucoup plus de crédit aux experts scientifiques et techniques qu'aux politiciens. Dans ce cadre, le *Livre Blanc* insiste fortement sur la nécessaire amélioration de la « confiance dans l'opinion des experts » et y consacre une page entière, dans laquelle on peut lire : « les experts scientifiques et autres jouent un rôle de plus en plus important dans la préparation et le suivi des décisions [...] les institutions s'en remettent au savoir des spécialistes pour anticiper et cerner la nature des difficultés et des incertitudes auxquelles l'Union est confrontée » (*Livre Blanc*, 22). En outre, dans le discours de la gouvernance participative, les citoyens « ordinaires » sont décrits comme appréhendant leur environnement politique essentiellement à travers le filtre de leurs sensations

et sentiments. Ainsi, pour les auteurs de ce discours, la plupart des insatisfactions des citoyens vis-à-vis de l'Union européenne n'est pas objectivement fondée, mais repose sur une perception imparfaite, voire erronée. Dans le même sens, le rapport sur la gouvernance européenne précise que « les avis profanes qui alimentent le processus politique sans être étayés par des connaissances scientifiques doivent être considérés avec prudence » (Schutter, Lebessis, Paterson, 2001, 297). En fait, la confrontation des avis experts et « profanes » (c.-à-d. non-experts) a pour véritable objectif de renforcer la légitimité des politiques publiques : « à travers la réintégration de la prise de décision experte et bureaucratique dans le processus politique, selon une approche non obstructive, mais qui au contraire sert l'efficacité, c'est aussi la légitimité qui se trouve renforcée » (*ibid.*, 300). Finalement, ces auteurs insistent avant tout sur la « promotion d'une expertise scientifique à caractère pluraliste » (*ibid.*, 310) : pour eux, l'essentiel est de garantir la pluralité des disciplines scientifiques mobilisées par les différents experts participants aux procédures de décision, bien plus que de réellement impliquer les non-experts dans ces procédures.²² Cela dit, malgré son origine historique socialiste, la promotion des experts scientifiques et techniques dans la prise de décision publique est en parfaite cohérence avec l'idéologie néolibérale : dans la mesure où les « individus » considérés par le discours de la gouvernance participative, comme par le discours néolibéral, sont des « acteurs rationnels », il est logique que soient appelés à « participer » les membres de la société civile supposés être les plus rationnels, c'est-à-dire les experts scientifiques et techniques.

Notons que la fortune institutionnelle du discours de la gouvernance participative européenne s'est accompagnée de la mise en œuvre de procédures de participation des citoyens dans de nombreux pays de l'UE à propos de plusieurs innovations technologiques (Bertrand, 2012). Deux ensembles de telles innovations ont été particulièrement étudiés en termes de politiques publiques européennes par de nombreux chercheurs en sociologie des sciences, ou en *Science and technology studies* : les biotechnologies – et plus précisément les organismes génétiques modifiés, ou OGM (Levidow, Carr, 2010) –, et les nanotechnologies (Laurent, 2010). En outre, la mobilisation de procédures participatives pour gouverner ce type de technologies a généré un grand nombre de critiques, exprimées par plusieurs auteurs au cours des vingt dernières années, en particulier à propos de l'utilisation de la participation comme un moyen de neutraliser ou de gouverner la contestation sociale.²³ Dans cette perspective, il est

²² Les questions de l'expertise scientifique, de sa place dans la prise de décision publique et des relations entre experts et non-experts (ou profanes) ont fait l'objet de recherches approfondies dans le domaine académique des *Science and technology studies* (STS) depuis les années 1980 ; voir par exemple (Collins, Evans, 2002).

²³ On pourra, parmi d'autres exemples, se reporter à l'affirmation de Dominique Pestre selon laquelle la participation invalide potentiellement le droit de protester (Pestre, 2008).

significatif que le *Livre Blanc* cherche précisément à se prémunir contre cette critique potentielle en affirmant que « la participation ne consiste pas à institutionnaliser la protestation » (*Livre Blanc*, 19). Mentionnons cependant un exemple d'étude développant en profondeur une telle critique. Dans le cas de la promotion des biotechnologies agricoles et des organismes génétiquement modifiés (OGM), au sein de l'UE, depuis le début des années 1990, Les Levidow et Susan Carr ont montré, dans un ouvrage de 2010, que la Commission européenne avait souvent utilisé la participation – quelques années avant que les procédures participatives ne soient véritablement généralisées – comme un moyen de délégitimer les demandes citoyennes. Ils écrivent ainsi : « des choix concernant la société future peuvent échapper à la responsabilité formelle de la démocratie représentative, même dans le cadre d'exercices participatifs » (Levidow, Carr, 2010, 38, je traduis). Pour ces deux auteurs, il est essentiel de distinguer deux types de processus participatifs. D'un côté, les procédures officielles de participation organisées par les institutions de l'UE entrent généralement en contradiction avec leurs objectifs démocratiques affichés et se réduisent souvent à des entreprises de légitimation de décisions budgétaires déjà prises. De l'autre côté, « des formes non sollicitées de participation publique – par exemple des manifestations, des boycotts alimentaires, des sabotages ou des réunions publiques – servent à maintenir ouvert l'avenir possible des systèmes agroalimentaires européens » (Levidow, Carr, 2010, 265, je traduis).

Pour conclure à propos de ce travail réalisé de 2011 à 2013, l'analyse sémantique des textes de la Commission européenne relatifs à la gouvernance de l'UE, et leur articulation avec des recherches récentes en philosophie politique, ont permis de montrer que ce discours de la gouvernance participative européenne pouvait être raisonnablement appréhendé comme la tentative d'élaboration d'une nouvelle forme d'organisation politique destinée à gouverner les populations européennes, dans un contexte historique de domination de l'idéologie néolibérale.

Malgré des relectures franchement positives par plusieurs collègues chercheurs en sciences politiques ou en *Science studies*, je n'ai pas réussi à publier le manuscrit que j'ai rédigé en 2013 à partir de ce travail. J'ai présenté ces résultats dans plusieurs colloques ou séminaires nationaux et dans quatre conférences internationales – dont la conférence annuelle de la *Midwest Political Science Association* (MPSA) en avril 2014 –, et les discussions passionnantes qui ont découlé de ces communications orales, tout comme les retours de la part des collègues m'ayant écouté, m'ont fait penser qu'il s'agissait d'un travail digne d'être publié dans une revue anglophone à comité de lecture. J'ai donc soumis le manuscrit à plusieurs revues internationales d'études politiques sur l'Union européenne, mais les éditeurs des revues en question ont

systematiquement refusé de faire évaluer mon article par des rapporteurs. J'ai essayé deux types de réponses de la part de ces éditeurs : soit mon article « était indéniablement intéressant » mais ne correspondait pas à la « ligne éditoriale » ou aux « attentes du lectorat » de la revue concernée (un éditeur m'ayant même écrit que ma position vis-à-vis de la Commission européenne était trop critique), soit il m'était reproché de vouloir publier dans une revue de sciences politiques alors que je n'étais précisément pas un chercheur en sciences politiques. Mon texte devait finalement être publié comme chapitre d'un ouvrage collectif en langue anglaise, dont le titre de travail était *Technology and Democracy*, et qui devait paraître dans la série « *Innovation and Diplomacy in Modern Europe* » des éditions De Gruyter. Malheureusement, les deux directeurs de l'ouvrage en préparation ont renoncé à poursuivre ce projet éditorial. J'ai donc finalement choisi de publier une version anglaise (Bertrand, 2014) et une version française (Bertrand, 2015) de ce travail sur la plateforme numérique « HAL-SHS. » Ce travail a également donné lieu à la rédaction d'une notice encyclopédique à propos du *Livre Blanc de la Gouvernance européenne* de 2001, après examen par un comité de lecture, pour *The online encyclopaedia of European history* (Bertrand, 2016a).

À l'occasion de ces déboires éditoriaux, j'ai pris conscience, au cours de l'année 2014, du fait que je me trouvais à nouveau dans une sorte d'impasse, d'un autre type que celle qui avait suscité ma réorientation professionnelle en 2009. Cette fois-ci, j'étais enfin convaincu que mes recherches s'inscrivaient dans le massif disciplinaire propice à mon plein épanouissement intellectuel et professionnel : les sciences humaines et sociales, mais que je n'avais pas encore trouvé les objets de recherche adaptés à mes aspirations profondes. D'une part, je réalisais que, si j'avais opéré une reconversion réussie des sciences de la nature vers l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences, je ne disposais d'aucune légitimité pour explorer les territoires des sciences politiques, même à propos d'objets en lien avec les sciences et les technologies. D'autre part, je dois avouer que la littérature grise de la Commission européenne (comme d'ailleurs celle de la Banque Mondiale) me tombait des mains, et que je ne souhaitais aucunement poursuivre son analyse. Surtout, je comprenais que je m'étais sensiblement éloigné des problématiques qui m'avaient attirées initialement vers l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences : l'histoire conceptuelle et sociale de la physique contemporaine, et l'histoire de l'interdisciplinarité. Au tout début de l'année 2015, j'ai alors demandé conseil à mon collègue Wolf Feuerhahn, afin qu'il m'aide à sortir de cette nouvelle impasse. Mais le récit de la suite de mes pérégrinations devra attendre le quatrième chapitre de ce mémoire.

III. Enseigner pour toujours douter. De l'enseignement de la thermodynamique et des mathématiques à la transmission d'un esprit critique (1998-)

*Je te donne nos doutes et notre indicible espoir,
Les questions que les routes ont laissées dans l'histoire.
Nos filles sont brunes et l'on parle un peu fort,
Et l'humour et l'amour sont nos trésors.*

(Jean-Jacques Goldman et Michael Jones, « Je te donne », in Jean-Jacques Goldman, *Non homologué*, 1985)

Mon quotidien professionnel est loin de se limiter à la recherche, et, outre les fonctions d'animation pédagogique ou d'encadrement, d'administration et d'évaluation de la recherche (notamment dans divers conseils pédagogiques, conseils scientifiques, conseils de laboratoire ou au sein du Comité national de la recherche scientifique, ou CoNRS), j'ai aussi consacré une grande partie de mon temps de travail à l'enseignement. Depuis 2003, et jusqu'à aujourd'hui, j'ai toujours enseigné pendant un volume annuel d'heures bien supérieur à celui correspondant à mes obligations statutaires. J'ai en effet été très attentif à marcher de façon équilibrée sur mes deux pieds d'enseignant-chercheur, et c'est pourquoi j'ai estimé important de consacrer un petit chapitre de cette habilitation à diriger des recherches à mes activités d'enseignant. Avant même de devenir maître de conférences, j'ai considéré que mon métier consistait autant à faire de la recherche qu'à transmettre des connaissances, des réflexions, des méthodologies, en grande partie nourries de ma pratique de chercheur.

1. Entre théâtre et maïeutique. Les mathématiques pour la physique ou la physique pour les mathématiques ?

Dès 1998, en parallèle de mes deux dernières années de thèse de physique, j'ai découvert l'autre facette du métier d'enseignant-chercheur en m'initiant à l'enseignement en école d'ingénieurs, en l'occurrence à l'ESPCI, comme vacataire. J'ai ensuite enseigné à l'École nationale supérieure de chimie et de physique de Bordeaux (ENSCPB), pendant mon année de postdoc (2000-2001), puis comme Attaché temporaire d'enseignement et de recherche (ATER) à nouveau à l'ESPCI, de 2001 à 2003. Le métier d'enseignant s'est révélé, à mes yeux, particulièrement proche de celui d'acteur de théâtre. Certes, la finalité n'est pas la même et le contenu des discours formulés n'est pas du tout du même ordre, mais le plaisir d'arpenter une estrade en essayant de capter l'attention de l'auditoire et en mobilisant diverses techniques oratoires est indéniablement commun aux deux pratiques. Le fait de transmettre des idées, qu'il

s'agisse de celles d'un dramaturge ou de théories qui relèvent d'un domaine particulier de savoir, a toujours suscité en moi un profond plaisir intellectuel. Cette activité d'enseignant m'a tellement passionné que j'ai décidé, à cette époque, de tout mettre en œuvre pour devenir enseignant-chercheur. De ce fait, je n'ai jamais été candidat pour entrer au CNRS comme chercheur, malgré les conseils de plusieurs collègues, et me suis concentré exclusivement sur les concours d'enseignant-chercheur. J'ai finalement été recruté par concours en 2003, à l'ESPCI, comme maître de conférences.

Pendant ma thèse de physique, les enseignements que j'ai assurés à l'ESPCI étaient des préceptorats – un format spécifique destiné à approfondir, à un rythme hebdomadaire, des questions ou des problèmes à peine évoqués dans les cours magistraux, en présence de quatre étudiant(e)s de cette école d'ingénieurs. J'ai pratiqué ce type d'enseignement dans deux sous-disciplines très proches : la thermodynamique statistique (cours du physicien Julien Bok, né en 1933) et la thermodynamique phénoménologique (cours du physicien Henri Vandamme, né en 1946). Dans le cadre de ces deux enseignements en petits groupes, et donc dans des conditions pédagogiques particulièrement privilégiées, je me suis toujours efforcé d'être le plus interactif possible et d'aider les étudiants à accoucher des idées qu'ils avaient souvent partiellement comprises et assimilées, mais sans systématiquement réussir à les reformuler clairement ou à les mobiliser avec pertinence. En ce sens, j'ai immédiatement placé ma pratique d'enseignant sous les vénérables auspices de la maïeutique socratique – même si le concept en est ici peut-être légèrement déformé, voire galvaudé –, que j'ai essayé de mobiliser en me remémorant les dialogues de Platon étudiés au collège et au lycée, pendant mes cours de grec ancien. J'ai également toujours eu à cœur d'intégrer le langage corporel, les modulations d'intensité vocale ou de registre de langage, et les touches d'humour, à mes enseignements, rapprochant de ce fait ma pratique pédagogique de celle de l'acteur de théâtre.

J'ai ensuite donné des cours magistraux de thermodynamique des colloïdes à l'ENSCP pendant mon postdoctorat à Bordeaux en 2000-2001. À partir de septembre 2001, en tant qu'ATER à l'ESPCI, outre la thermodynamique, j'ai enseigné les mathématiques pour la physique, sous la forme de préceptorats et de travaux dirigés, dans le cadre du cours magistral du physicien théoricien Elie Raphaël. Il s'agissait alors d'enseigner aux étudiants de cette école d'ingénieurs la pratique concrète des domaines des mathématiques les plus utiles en physique (ainsi qu'en chimie et en biologie). Le principe était de compléter par l'étude de cas concrets les cours magistraux donnés par Elie Raphaël en première et deuxième année de l'ESPCI. Les domaines abordés concernaient les fonctions analytiques, le calcul variationnel, les

transformées de Fourier, les intégrales de Lebesgue, et les distributions, à chaque fois dans une perspective (parfois implicite) d'utilisation dans les sciences physiques, ainsi que le calcul des probabilités, aussi bien pour la physique que pour la chimie ou la biologie. Dans ces enseignements, je me suis toujours efforcé de mobiliser mes connaissances en physique pour illustrer l'importance de maîtriser rigoureusement certaines parties des mathématiques. Autrement dit, même s'il s'agissait explicitement d'enseignement de mathématiques pour la physique, j'ai souvent mis en œuvre une pédagogie reposant au moins autant sur l'idée de convoquer la physique pour démontrer l'utilité et l'efficacité concrètes des outils mathématiques : physique pour les mathématiques autant que mathématiques pour la physique.

Une fois recruté comme maître de conférences à l'ESPCI, à partir d'octobre 2003, et jusqu'en 2014, en parallèle de ces enseignements de mathématiques pour la physique, je suis intervenu dans des travaux pratiques de physico-chimie des colloïdes, afin d'illustrer empiriquement les principales notions de thermodynamique, et plus généralement de physique, des colloïdes. J'ai également donné des cours magistraux à propos du magnétisme dans le cadre du cours du chimiste Nicolas Lequeux sur les matériaux inorganiques. J'ai également mis en place et assuré un cours de thermodynamique des systèmes colloïdaux dans le cadre du DEA de chimie physique et analytique de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).

2. Esprit critique, es-tu là ?

En 2010, un peu plus d'un an après avoir opéré mon changement d'objets de recherche en direction de l'histoire des sciences, j'ai construit de toutes pièces, à l'ESPCI, une Unité d'enseignement (UE) d'introduction à l'histoire, à la philosophie, et à la sociologie des sciences et des technologies, qui fait, aujourd'hui, partie du tronc commun de la deuxième année de formation des futurs ingénieurs de cette école, et dont je suis toujours responsable. Ce cours, intitulé « Histoire des sciences et des technologies en société », se situe à l'interface entre les sciences de la nature et les sciences humaines et sociales. Il a pour objectif de faire réfléchir les élèves ingénieurs sur la place des sciences et des technologies dans les sociétés – passées comme contemporaines. Le but est de contribuer à former des futurs ingénieurs qui n'aient pas une vision naïve des sciences et des technologies, et qui aient une conscience professionnelle (et personnelle) ouverte aux causes et aux conséquences des pratiques scientifiques. Il s'agit donc, pour les divers intervenants de ce cours, d'aider les élèves à prendre du recul sur les sciences et les technologies, et sur les différents enjeux de leur déploiement en société. J'y

assure environ un tiers des interventions, et l'ensemble des enseignants – la plupart du temps des collègues du Centre Alexandre-Koyré (des historiens des sciences du Centre, Charlotte Bigg, Wolf Feuerhahn, Rafael Mandressi, Anne Rasmussen, Antonella Romano, mais aussi la sociologue des sciences Sezin Topçu, du Centre d'étude des mouvements sociaux, ou encore Valérie Boisvert, professeure d'économie de l'environnement à l'Université de Lausanne) – s'efforcent d'y favoriser l'ouverture critique et les échanges intellectuels.

Je suis en effet habité par une profonde conviction à propos de l'importance majeure du développement, pour les futurs ingénieurs, d'une culture critique sur les sciences et l'innovation, notamment par la mobilisation de l'histoire, de la philosophie, et de la sociologie des sciences. Il me semble en effet difficile, pour ne pas dire absurde, d'envisager aujourd'hui qu'un jeune ingénieur n'ait jamais été amené, pendant ses études, à réfléchir à la place et au déploiement des sciences et des technologies dans nos sociétés contemporaines, et à l'évolution historique de cette place au cours des siècles passés. Cela est d'autant plus crucial que j'ai pu observer, depuis quelques années, chez mes étudiants en école d'ingénieurs, une demande croissante d'ouverture intellectuelle sur les enjeux environnementaux globaux et sur les questions liées à la responsabilité des ingénieurs dans nos sociétés.

En raison du succès pédagogique de cette introduction à l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences, la direction des études de l'École normale supérieure de Lyon m'a contacté, à la rentrée universitaire 2018, afin que je conçoive et organise une semaine de cours pour les élèves (scientifiques et littéraires) de quatrième année de l'ENS Lyon, sur le modèle du cours créé à l'ESPCI. En 2021, j'ai transmis l'organisation de ce module à une équipe d'enseignants-chercheurs locaux. Parallèlement à ces enseignements, l'historien des sciences David Aubin m'a invité en 2010 à créer, et à assurer pendant deux années, un module de cours et de travaux dirigés sur l'histoire de la thermodynamique pour les étudiants préparant le CAPES de physique et chimie au sein des Masters 2 de physique et de chimie, spécialité « éducation et formation », de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).

Depuis 2012, j'anime également l'Unité d'enseignement (UE) de tronc commun « Sciences et technologies en société » (STS) de la mention « Histoire des sciences, technologies, sociétés » (HSTS) – formation que j'avais suivie en 2009-2010 au moment de ma reconversion – du Master en sciences humaines et sociales de l'EHESS. Après deux ans de coanimation de cette UE avec moi, le sociologue des sciences Pierre-Benoît Joly, directeur de recherches à l'INRA, s'est retiré, en 2014, de la coresponsabilité de ce cours, à laquelle il

participait depuis presque dix ans, et m'en a laissé la responsabilité. À la rentrée universitaire 2013, j'ai également mis en place un enseignement d'histoire, de philosophie et de sociologie des sciences dans plusieurs formations de l'Université Paris-Dauphine, dans le cadre d'une convention entre Paris-Dauphine et l'ESPCI Paris (deux établissements membres de l'Université PSL – Paris Sciences et Lettres). J'ai entièrement conçu cet enseignement, et l'ai adapté à plusieurs types de formations très différents, de 2013 à 2020 : un Master 2 en management de la recherche (M2 en formation continue), un Master 2 en affaires publiques (M2 en alternance), puis une première année (L1) et une deuxième année (L2) de Licence de science des organisations, un Master 1 « Innovation, Réseaux, Numérique », et un Master 1 « Droit et gouvernance publique ».

Au cours des treize dernières années, j'ai ainsi mis en œuvre toute une palette d'enseignements dans le domaine de l'histoire, de la sociologie, et de la philosophie des sciences, au sein d'un ensemble très varié de formations – de niveau L1 à M2 – et d'établissements : l'ESPCI Paris, l'Université Paris VI, l'Université Paris-Dauphine, l'Université PSL, l'ENS Lyon, et l'EHESS. Cela m'a permis d'adapter ces approches à toute une variété de publics extrêmement différents : des élèves ingénieurs, des étudiants préparant le CAPES de physique et chimie, des élèves normaliens scientifiques ou littéraires, des étudiants en sciences sociales, des étudiants en sciences de gestion, et même des étudiants en droit.

Ainsi, de 2010 à 2014, j'ai mené de front des enseignements en physique, en physico-chimie, en mathématiques pour la physique, et en histoire, philosophie et sociologie des sciences. Depuis 2014, mon service d'enseignement est intégralement consacré à l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences, au sein de plusieurs établissements d'enseignement supérieur. Depuis 2020, ces enseignements se déroulent principalement à l'ESPCI Paris, à l'Université Paris Sciences et Lettres (PSL), et à l'École des hautes études en sciences sociales.

Pour moi, enseigner au niveau de la formation supérieure en sciences humaines et sociales, c'est avant tout enseigner à débattre, contribuer à aiguïser l'esprit critique des étudiants, leur apprendre à toujours douter, à ne rien prendre pour argent comptant au prétexte que cela viendrait d'une autorité légitime, d'un « grand » chercheur, et à toujours pouvoir remettre en question toute pensée. Sans évidemment en arriver à la conclusion systématique que cette pensée n'est pas pertinente, il s'agit de ne considérer aucune recherche comme non critiquable par essence. C'est pour moi la plus grande leçon que l'on peut transmettre aux

étudiants : leur donner les outils théoriques et méthodologique pour leur apprendre à réfléchir par eux-mêmes et donc à potentiellement mettre en doute la pensée d'autrui. Mais enseigner, c'est aussi douter de ses propres certitudes, accepter de se mettre en danger intellectuellement, et se rendre compte que l'on n'a réellement et profondément compris une pensée que si l'on est capable de l'enseigner.

L'un des principaux objectifs que je m'efforce d'atteindre dans le cadre de ces divers cours d'histoire, de philosophie et de sociologie des sciences, ou encore de « Sciences et technologies en société », consiste, pour le ramasser en quelques mots, à déconstruire le mythe du savant autonome vis-à-vis de la société, et pour ainsi dire seul dans sa « tour d'ivoire ». L'idée est notamment de montrer aux étudiants que l'insertion des scientifiques dans le monde social et économique qui les entoure n'est pas une spécificité de notre époque, et constitue depuis longtemps une réalité historique, au moins depuis l'émergence des sciences, généralement dites « modernes », aux XVI^e et XVII^e siècles. Par exemple, deux figures scientifiques emblématiques de cette prétendue tour d'ivoire (image que la plupart des étudiants béotiens, et des citoyens non-spécialistes de ces questions, prennent souvent implicitement au sérieux) – Galilée et Newton – sont particulièrement utiles pour déconstruire le mythe correspondant. En effet, les étudiants ignorent généralement les activités de courtisan de Galilée (1564-1642) à la Cour du duc de Toscane, ou à la Cour pontificale, ou sa contribution au perfectionnement de l'artillerie lourde, au sein de l'arsenal de Venise (Pestre, 2003, 19 ; Biagioli, 1993). En ce qui concerne le savant britannique Isaac Newton (1643-1727), ce sont ses activités de détection des contrefaçons de pièces de monnaie à l'Hôtel des Monnaies de Londres, ou son travail de procureur royal dans de grands procès de faux-monnayeurs, qui sont particulièrement significatifs (Pestre, 2003, 26 ; Westfall, 1980).

Dans mes cours, j'aborde notamment la notion de vérité scientifique et de preuve expérimentale (Popper, 2004 ; Atten, Pestre, 2002), et leur articulation avec le contexte social et historique des découvertes scientifiques (Farley, Geison, 1974), mais aussi l'histoire de la thermodynamique et de la mécanique statistique (Carnot, 1824 ; Clausius, 1868 ; Stengers, 2003a ; Darrigol, 2018), l'histoire des énergies hydrocarbonées dans les sociétés industrielles du XIX^e siècle à aujourd'hui (Mitchell, 2011), l'histoire du nucléaire civil en France (Topçu, 2013) et du risque nucléaire (Bensaude-Vincent, Boudia, Sato, 2022), la notion sociologique de société du risque (Beck, 2008), l'économie de la science (Mirowski, 2011), l'histoire du partage des savoirs entre sciences et lettres en France (Feuerhahn, 2017 ; Bertrand, 2016b et 2018), l'histoire de l'idéologie néolibérale (Gauchet, 2017 ; Mirowski, Plehwe, 2009), l'histoire

de la notion de biodiversité (Thomas, Boisvert, 2015 ; Bertrand, 2016c), la place des femmes dans le milieu et les connaissances scientifiques (Martin, 1987), entre autres thématiques. Mon approche pédagogique consiste toujours à proposer des cours les plus interactifs possibles, et à impliquer personnellement les étudiants dans ces cours, en leur montrant que les thèmes sociaux et politiques qu'ils estiment cruciaux aujourd'hui, ont quasiment tous une histoire longue, et constituaient déjà, pour la plupart, des enjeux centraux dans les sociétés des siècles précédents.

J'ai par ailleurs assumé des responsabilités pédagogiques importantes en dirigeant le Master d'histoire et sociologie des sciences de l'EHESS pendant deux années, de janvier 2018 à janvier 2020. J'ai en effet assumé la responsabilité, en tandem avec ma collègue historienne des sciences, chargée de recherches au CNRS, Charlotte Bigg, de la mention « Histoire des sciences, technologies, sociétés » du Master en Sciences humaines et sociales de l'EHESS. Dans ce cadre, nous avons échafaudé, et mis en place, à la rentrée universitaire d'octobre 2019, une nouvelle mention de Master, intitulée « Savoirs en sociétés ». Nous avons en effet réussi à faire accréditer cette nouvelle mention par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, malgré un intitulé non conforme au nouveau référentiel national des formations de Master. J'ai donc codirigé cette nouvelle mention de Master jusqu'à ce qu'elle soit mise sur les rails. J'ai trouvé cette fonction passionnante mais très chronophage, dans la mesure où elle exigeait d'y consacrer au moins une partie de mon temps chaque jour. Mais j'estime que c'est aussi l'une des missions importantes d'un enseignant-chercheur. Nous ne sommes pas uniquement là pour transmettre des connaissances ou pour effectuer des recherches, mais également pour aider à l'administration et à la gestion des formations, et pour faire en sorte que l'offre de formation soit enrichissante intellectuellement pour les étudiants, et leur permette de gagner en intelligibilité du monde. De mon point de vue, un enseignant est aussi quelqu'un qui aide l'étudiant à devenir un citoyen accompli. Évidemment, il ne s'agit absolument pas de faire passer en contrebande nos partis pris idéologiques, mais bien d'aider l'étudiant à aiguïser son esprit critique pour être un citoyen capable de faire des choix démocratiques en pleine connaissance de cause, et en sachant le plus précisément possible ce qui détermine ses choix.

En outre, je m'implique fortement dans l'encadrement des travaux de recherche des étudiants. En effet, dans le cadre du Master d'histoire des sciences de l'EHESS, j'encadre régulièrement les travaux de mémoires de recherche d'étudiants de M1 et de M2, sur des sujets tels que, par exemple, la controverse philosophique entre Niels Bohr et Albert Einstein à propos de l'interprétation de la mécanique quantique, l'histoire des grands instruments sur le plateau de Saclay, la gestion des risques nucléaires, ou encore l'histoire de l'ordinateur quantique.

Toujours sur ce volet d'encadrement, j'ai dirigé (ou codirigé) quatre thèses de doctorat en physico-chimie ou en physique, toutes financées. Depuis janvier 2021, je dirige la thèse d'histoire des sciences de mon ancienne étudiante de Master, Delphine Blanchard, qui a obtenu, pour la réaliser, un financement par contrat doctoral du CNRS. Cette thèse porte sur l'histoire de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules, ou IN2P3, créé en 1971. Pour la mener à bien, Delphine Blanchard dispose d'un accès privilégié à l'ensemble des archives de l'IN2P3, depuis sa gestation.

Enfin, dans un autre registre, j'affectionne particulièrement, dans le cadre de ce que l'on a coutume d'appeler aujourd'hui « valorisation » de la recherche, les interventions de vulgarisation en direction du grand-public non spécialiste. J'ai notamment été sollicité à deux reprises, en 2019 et 2020, pour intervenir sur France Culture, d'abord dans l'émission « La méthode scientifique », pour parler d'histoire de la thermodynamique, puis dans l'émission « Entendez-vous l'éco ? », pour parler d'économie de la science et de la place de la recherche fondamentale dans l'innovation technologique.

IV. Les *Havres gris*. Un retour plein d'usage et raison ? (2015-)

*If everything ends,
Is it worth to turn back home again?*

(Mikael Åkerfeldt, "All Things Will Pass", in Opeth, *In Cauda Venenum*, 2019)

*Home, home again.
I like to be here when I can.*

(Roger Waters, "Time", in Pink Floyd, *Dark Side of the Moon*, 1973)

*Au fond, j'crois qu'la Terre est ronde
Pour une seule bonne raison.
Après avoir fait l'tour du monde,
Tout c'qu'on veut, c'est être à la maison.*

(Orelsan, « La Terre est ronde », in *Le Chant des sirènes*, 2011)

Comme je l'ai expliqué dans l'introduction de ce mémoire, je suis, depuis l'adolescence, un lecteur passionné de mythologie grecque, et, comme il se doit dans ce domaine, un admirateur des récits d'Homère, et tout particulièrement de l'*Odyssée* d'Ulysse. C'est certainement la principale raison pour laquelle j'ai toujours en tête, bien que l'ayant appris il y a près de quarante ans, le premier quatrain du célèbre sonnet du poète français Joachim du Bellay (1522-1560) :

*Heureux qui, comme Ulysse, a fait un beau voyage,
Ou comme celui-là qui conquiert la toison,
Et puis est retourné, plein d'usage et raison,
Vivre entre ses parents le reste de son âge !*

À dire vrai, la chanson « Heureux qui comme Ulysse » de Georges Brassens (1921-1981), sortie en 1970 (musique de Georges Delerue, paroles de Henri Colpi), a probablement contribué à ancrer dans mon esprit les premiers mots du sonnet en question. Mais le retour d'Ulysse à Ithaque n'a jamais eu, dans mon imaginaire, la puissance évocatrice d'un autre lieu, attaché cette fois-ci à la littérature contemporaine : les *Havres gris*, situés à l'extrême-ouest de la *Terre du Milieu*, un monde créé et dépeint par le philologue et écrivain britannique John Ronald Reuel Tolkien dans son œuvre pléthorique et foisonnante, et notamment dans son épopée *Le Seigneur des anneaux*, publiée en trois volumes en 1954 et 1955. Les *Havres gris*,

ou *Grey Havens* en anglais, sont un port construit par le peuple des Elfes. Dans le légendaire de Tolkien, les Elfes sont des êtres immortels qui, à l'issue de leur séjour auprès des Hommes dans la *Terre du Milieu*, embarquent aux *Havres gris* pour leur ultime voyage vers les *Terres Immortelles*, au-delà des mers, d'où ils arrivèrent pour explorer la *Terre du Milieu*, bien avant l'apparition des Hommes. En quelque sorte, les Elfes sont des êtres à la sagesse immense qui assistent les humains dans leur combat contre les forces maléfiques qui sévissent en *Terre du Milieu*, puis, une fois las des querelles et des guerres de ce monde où toute créature vivante est promise au trépas, s'en retournent « pleins d'usage et raison » vivre pour l'éternité dans un continent perdu, dont eux seuls connaissent la route d'accès maritime.

Bien que ne pouvant prétendre à la sagesse elfique, et encore moins à l'immortalité afférente, j'affectionne la métaphore qui fait de la thermodynamique le port duquel j'ai débarqué pour explorer divers objets de recherches comme la gouvernance et la participation, et auquel je suis revenu pour y développer mes recherches et mes réflexions, mais désormais comme historien des sciences et plus en tant que physicien.

1. Un retour réflexif sur les premières amours. La thermodynamique et les livres comme *Havres gris*

Au tout début de l'année 2015, désireux de m'éloigner de l'étude des discours de la Commission européenne et de me recentrer sur l'histoire et la philosophie (sans oublier la sociologie) des sciences, je me suis adressé à mon collègue Wolf Feuerhahn, dont j'estimais que, connaissant mon parcours, il saurait m'orienter vers des objets de recherche conformes à mes aspirations. Bien m'en a pris, dans la mesure où toutes mes recherches depuis 2015 découlent de cette discussion initiale avec Wolf. Ce dernier savait que j'avais consacré plus de dix années, en tant que physicien, à la thermodynamique. Il m'a donc suggéré de m'intéresser à l'ouvrage *La Nouvelle Alliance* (Prigogine, Stengers, 1979), publié en 1979 par le physicien et chimiste, spécialiste de thermodynamique, Ilya Prigogine (1917-2003), et la philosophe Isabelle Stengers (née en 1949), qu'on lui avait fait lire en classes préparatoires littéraires. Ce que Wolf ne savait pas, c'est que j'avais lu, et apprécié, ce livre (et plusieurs autres de Stengers) pendant ma thèse de physique et que je disposais même d'un exemplaire de son édition originale, que Prigogine m'avait dédié en 2001 lors de la remise de la première édition du prix européen de thèse portant son nom, pour mon travail doctoral. Mon collègue et désormais ami Wolf ne pouvait donc pas mieux tomber. Son conseil s'avérait si judicieux que j'en étais

presque étonné de ne pas y avoir pensé moi-même, alors que je disposais pourtant de tous les éléments pour arriver à la même conclusion que lui.

J'ai ainsi décidé, au début de 2015, de regagner mes *Havres gris*, de renouer avec mes premières amours de chercheur, et de me consacrer à l'histoire et à la philosophie de la thermodynamique, une branche de la physique que j'avais pratiquée abondamment pendant mes treize années de recherches en tant que physicien. Apparue au XIX^e siècle, dans le sillage de la première révolution industrielle (Carnot, 1824), la thermodynamique est souvent considérée comme un domaine ésotérique, particulièrement exigeant, voire opaque, y compris pour un certain nombre de physiciens de métier. Il s'agit néanmoins d'une branche, ou d'une sous-discipline, de la physique, au périmètre très étendu, dans la mesure où elle concerne potentiellement tous les systèmes matériels composés d'un très grand nombre d'éléments – la plupart du temps des particules, des atomes, des molécules –, c'est-à-dire tous les systèmes auxquels on peut attribuer une température et qui sont susceptibles d'échanger de l'énergie avec leur environnement. À titre d'exemples, on ne peut guère prétendre, aujourd'hui, étudier scientifiquement les moteurs (machines à vapeur, moteurs à explosion, moteurs électriques, etc.), les changements d'état de la matière (la fusion de la glace, l'évaporation de l'eau ou de tout liquide, la solidification, la condensation, etc.), ou encore les phénomènes climatiques (les prédictions météorologiques à court terme, les transformations du climat à moyen ou long terme, etc.) sans recourir à la thermodynamique.

Dans ce cadre général, mes recherches se sont d'abord focalisées sur la genèse, la construction, la publication, la réception, et les controverses suscitées par l'ouvrage *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science* (Prigogine, Stengers, 1979), publié en 1979 aux éditions Gallimard. Comme je le détaillerai au paragraphe V.2, une des nombreuses problématiques soulevées par mon étude de ce livre a concerné la pratique concrète et le discours académique de l'interdisciplinarité entre sciences de la nature et sciences humaines et sociales. L'examen de la volonté affichée par Prigogine et Stengers de promouvoir l'utilisation des méthodes de la thermodynamique pour mieux modéliser ou comprendre des phénomènes sociaux constitue une autre dimension importante de mon enquête sur la construction et la réception de cet ouvrage. Ce livre de 1979 offre également une porte d'entrée vers l'étude des transformations de l'histoire et de la philosophie des sciences, dans les années 1970, dans le sillage de ce que l'on a souvent appelé le « tournant social » de l'histoire des sciences, et dans le cadre de l'épanouissement d'un programme de recherche en provenance principalement de Grande-Bretagne, les *Science studies*, sur lesquelles je reviendrai au paragraphe V.3.

Plus généralement, à partir de ce moment-là, mes thématiques de recherche, évidemment influencées par mon parcours antérieur, se sont tournées vers les échanges interdisciplinaires et les circulations de concepts, de personnes et de pratiques entre les sciences physiques et les sciences humaines et sociales. En résumé, depuis 2015, mes recherches s'inscrivent principalement dans trois thématiques générales :

- 1) l'histoire, la philosophie et la sociologie de la physique, du XIX^e siècle à aujourd'hui, et notamment de la thermodynamique, de la physique statistique et de la physique quantique ;
- 2) l'histoire de l'interdisciplinarité et des dialogues entre sciences physiques et sciences humaines et sociales depuis la fin du XIX^e siècle ;
- 3) l'histoire du domaine de l'histoire des sciences et de l'activité éditoriale de ce domaine depuis le début du XX^e siècle.

La troisième thématique m'a notamment permis de renouer pour de bon avec un autre type d'objet dont je m'étais éloigné, mais qui ne m'avait jamais vraiment quitté pendant mes années de chercheur en physique : les livres en général, et les ouvrages d'histoire et de philosophie des sciences en particulier. Il s'agissait en quelque sorte pour moi de regagner une autre dimension de mes *Havres gris*, complémentaire de la thermodynamique. Depuis l'adolescence, les livres (au même titre que la musique évoquée dans l'introduction) font partie intégrante de ma vie, et je suis heureux d'avoir pu regagner ce port d'attache, ces *Havres gris*, pour réfléchir à leur production, à leur édition et à leur réception, en particulier dans mon nouveau domaine, l'histoire des sciences.

Ainsi, ma collègue historienne de l'édition Valérie Tesnière, mon collègue historien des sciences Wolf Feuerhahn, et moi avons organisé deux journées d'études en 2017 sur l'édition de l'histoire des sciences en France, au XX^e siècle. Ces rencontres ont permis un dialogue riche et original entre historiens des sciences et historiens du livre et de l'édition, tout en donnant la parole à plusieurs acteurs du monde de l'édition, directeurs de collections notamment. Ces travaux se sont concrétisés par un ouvrage collectif, intitulé *Éditer l'histoire des sciences (France, XX^e siècle). Entre sciences et sciences humaines*, qui est paru en décembre 2022 aux Presses de l'ENSSIB (Bertrand, Feuerhahn, Tesnière, 2022). D'ailleurs, en m'initiant à cette occasion au domaine de l'histoire de l'édition, j'ai retrouvé ma professeure de français de seconde et de première, Élisabeth Parinet, dont j'ai indiqué, dans l'introduction du présent mémoire, l'importance qu'elle avait eue dans mon parcours intellectuel. En effet, un an après la fin de l'année scolaire 1989-1990, durant laquelle elle avait travaillé pour la dernière fois

comme professeure de français, au lycée de Rueil-Malmaison, Élisabeth a été recrutée comme enseignante-chercheuse à l'École nationale des chartes, dont elle est depuis 2014 professeure émérite. Je l'avais perdue de vue jusqu'en 2015, mais j'ai alors appris qu'elle avait consacré la seconde partie de sa carrière à l'histoire du livre, de l'édition et des médias contemporains. Je me plongeai alors dans l'un de ses nombreux travaux, un ouvrage particulièrement riche et instructif publié en 2004 et intitulé *Une histoire de l'édition à l'époque contemporaine (XIX^e-XX^e siècle)* (Parinet, 2004). Nous l'avons, de ce fait, sollicitée pour participer aux journées d'études de 2017, et elle a rédigé le chapitre conclusif de l'ouvrage collectif de 2022 (Parinet, 2022).

Dans le cadre de ce travail collectif sur l'édition de l'histoire des sciences, en France au XX^e siècle, j'ai étudié la place de l'histoire, de la philosophie et de la sociologie des sciences, et plus généralement des études sur les sciences, dans la production éditoriale des éditions Gallimard, depuis leur création en 1911.²⁴ L'objectif de cette enquête était de cerner la place que la maison d'édition généraliste Gallimard a accordée à l'histoire des sciences, au sens le plus large envisageable, en insistant plus particulièrement sur le demi-siècle allant de 1962 à 2011. Les éditions Gallimard ne sont guère connues pour être un lieu de publication dédié à l'histoire des sciences, comme en témoigne le fait qu'aucune des 378 collections et revues²⁵ qui ont jalonné l'existence de cette maison d'édition, depuis 1911, ne s'est consacrée explicitement à ce domaine d'études, si l'on excepte la collection « L'Avenir de la Science », qui était bien davantage centrée sur la vulgarisation scientifique (écrite essentiellement par des scientifiques) que sur l'histoire des sciences. C'est d'ailleurs précisément là que se situe l'originalité de mon enquête : elle s'est consacrée à un objet en apparence inexistant, l'histoire des sciences chez Gallimard. Qu'il s'agisse de maisons d'édition spécialisées – Hermann, les Presses universitaires de France, les Publications scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle – ou généralistes – Flammarion, Le Seuil, La Découverte, L'Harmattan –, un grand nombre d'éditeurs ont fait le choix de consacrer une ou plusieurs collections au domaine de l'histoire des sciences au sens large. *A contrario*, Gallimard a fait le choix – ou plutôt le non-choix, car la question ne s'est certainement jamais posée en ces termes – inverse. Il importe ici de préciser

²⁴ Les paragraphes qui suivent reprennent des passages du chapitre que j'ai écrit (Bertrand, 2022) pour notre ouvrage collectif *Éditer l'histoire des sciences (France, XX^e siècle)*. Je tiens à remercier Christelle Furlon-Kouayep pour l'ensemble des chiffres de ventes qu'elle m'a communiqués pour ce travail, ainsi que Pierre Nora et Eric Legendre pour m'avoir donné accès à certaines archives des Éditions Gallimard. Je remercie également Marcel Gauchet, Pierre Nora, Éric Vigne et Nicolas Witkowski, malheureusement décédé en 2020, d'avoir bien voulu répondre à mes nombreuses questions. Enfin, merci à Wolf Feuerhahn de m'avoir suggéré de m'intéresser à la place de l'histoire des sciences chez Gallimard.

²⁵ Décompte réalisé à partir de l'index alphabétique des collections et revues des éditions Gallimard accessible sur le site internet : <http://www.gallimard.fr/Toutes-nos-collections-et-revues> (consulté le 24 juillet 2017).

ce que j'appelle « histoire des sciences au sens large ». L'idée est de qualifier ainsi l'ensemble des études issues du champ des sciences humaines et sociales qui prennent les sciences pour objet d'investigation, quelles que soient les approches – disciplinaires ou pas – mobilisées pour le faire. Cela comprend donc à la fois l'histoire des sciences au sens strict, la philosophie des sciences, la sociologie des sciences, l'anthropologie des sciences, ou encore tout mélange de ces approches, et peut même aller jusqu'au domaine-frontière constitué par la vulgarisation des sciences, lorsque celle-ci fait explicitement appel à des dimensions historiques. Dans la suite, j'utiliserai, sauf précision contraire, l'expression simple « histoire des sciences » pour désigner cette histoire des sciences au sens large.

Je me suis surtout focalisé sur la période 1962-2011. Pourquoi de telles bornes pour la période centrale de mon enquête ? Bien entendu, un tel découpage contient toujours une part d'arbitraire, mais l'année 1962 semble pertinente à plusieurs titres lorsque l'on s'intéresse aux éditions Gallimard et à l'histoire des sciences. Tout d'abord, trivialement, c'est la première année du deuxième demi-siècle d'existence de la maison d'édition, créée en 1911. L'année du cinquantenaire, 1961, a d'ailleurs vu le remplacement du nom « Librairie Gallimard » par le toujours actuel « Éditions Gallimard » (Assouline, 2006, 620). Ensuite, l'année 1962 est marquée, chez Gallimard, par la création d'une nouvelle collection non littéraire (Cerisier, 2011, 114), « Idées », dirigée par l'éditeur et traducteur français d'origine hongroise François Erval (1914-1999), et qui a abrité un grand nombre d'ouvrages se rattachant au domaine de l'histoire des sciences. Enfin, dans la communauté académique internationale de l'histoire des sciences, il s'agit de l'année de publication d'un ouvrage important, voire canonique, *La structure des révolutions scientifiques*, du philosophe et historien des sciences états-unien Thomas Kuhn, même s'il n'est traduit en français qu'en 1972, aux éditions Flammarion, dans la collection « Nouvelle bibliothèque scientifique », dirigée par l'historien Fernand Braudel (Kuhn, 1972). En ce qui concerne l'année 2011, outre le fait qu'il s'agit de l'année du centenaire de Gallimard, et qu'elle permet donc de se focaliser exactement sur le deuxième demi-siècle d'existence de la maison d'édition, elle a été le théâtre d'une expérience avortée de création, avec comme responsable le physicien et éditeur français Nicolas Witkowski (1949-2020), d'une collection dédiée aux sciences, mais aussi à leur histoire et à leur vulgarisation.

Comment ai-je procédé pour étudier un corpus qui n'apparaît jamais explicitement dans les catalogues des éditions Gallimard ? Je me suis appuyé principalement sur trois types de sources : i) le catalogue Gallimard du centenaire (Collectif, 2011), complété, lorsqu'il était apparemment incomplet ou inexact, par des catalogues antérieurs et par le moteur de recherche

du site internet des éditions Gallimard²⁶ ; ii) les archives des éditions Gallimard²⁷ ; iii) des entretiens réalisés avec des acteurs éditoriaux importants de la maison d'édition.²⁸ L'approche employée a consisté, à partir du catalogue Gallimard, à identifier les différentes collections susceptibles d'accueillir des ouvrages d'histoire des sciences, puis à faire l'inventaire précis, dans chacune de ces collections, des ouvrages relevant effectivement de l'histoire des sciences. Pour déterminer ces listes d'ouvrages pertinents, la méthode, purement heuristique, a consisté à passer en revue l'ensemble des titres d'ouvrages des collections sélectionnées, puis les auteurs des ouvrages dont le titre n'était pas suffisamment explicite pour juger d'un éventuel rattachement au champ de l'histoire des sciences. Les critères utilisés pour retenir un ouvrage ont été très informels, s'appuyant tantôt sur la connaissance de son contenu, tantôt sur celle de son auteur, ou encore en passant par de rapides recherches au sujet de l'ouvrage ou de l'auteur. J'ai choisi de retenir, en accord avec la définition proposée pour l'histoire des sciences au sens large, aussi bien des livres d'histoire d'une discipline ou d'un concept, que des réflexions philosophiques, sociologiques ou anthropologiques sur les sciences (sciences de la nature ou sciences humaines et sociales), les techniques ou les savoirs, ou encore des ouvrages de vulgarisation visant à faire connaître une discipline, une sous-discipline, une théorie, une pratique expérimentale ou un concept scientifique, en s'appuyant notamment sur son histoire.

J'ai ainsi dénombré onze collections pertinentes pour l'étude de la place occupée par l'histoire des sciences chez Gallimard entre 1962 et 2011. Ces collections sont regroupées dans le Tableau 1, qui renseigne sur les dates d'existence de ces collections, sur leur(s) directeur(s) successif(s) le cas échéant, ainsi que sur le nombre de livres considérés comme relevant du champ de l'histoire des sciences au sens large, et sur le nombre total de livres publiés dans ces collections, pendant la période étudiée.

D'un point de vue purement quantitatif, on remarque que les ouvrages d'histoire des sciences représentent 152 livres, pour un total d'environ 1500 livres publiés (la grande majorité des livres de la collection « Folio Essais » étant des rééditions, ils ne sont pas comptabilisés ici) dans la période considérée, soit environ 10% de la production éditoriale inédite totale de l'ensemble de ces onze collections non littéraires.

²⁶ Le site en question, accessible à l'adresse <http://www.gallimard.fr>, est très complet, mais il vaut mieux savoir précisément ce que l'on cherche avant de s'y aventurer, contrairement au catalogue papier.

²⁷ Les archives des collections non littéraires antérieures à l'arrivée de Pierre Nora sont administrées par Alban Cerisier et Éric Legendre. Les archives des collections dirigées par Pierre Nora sont directement gérées par Pierre Nora et Christelle Furlon-Kouayep.

²⁸ J'ai ainsi réalisé des entretiens avec Pierre Nora, Éric Vigne et Nicolas Witkowski, et eu quelques discussions très instructives avec Marcel Gauchet.

Année de création – Année de fin	Nom de la Collection	Directeur(s) de la collection (période de direction)	Nb livres en hist. des sciences (1962-2011)	Nb total de livres (1962-2011)
1927-	Bibliothèque des idées	B. Groethuysen (1927-1946) J. Paulhan (1927-1968) P. Nora (1968-)	9	139
1931-1987	Les Essais (poursuivie par NRF Essais en 1988)	±B. Crémieux, ±B. Groethuysen, ±B. Parain, ±J. Paulhan, ±R. Queneau (1931-1966) P. Nora (1967-1987)	6	129
1936-1968	L’Avenir de la Science	J. Rostand (1936-1968)	4	4
1950-	Bibliothèque de philosophie	M. Merleau-Ponty (1950-1961), J.-P. Sartre (1950-1964) ±P. Verstraeten (1964-1969) ±P. Nora (1969-1988) ±M. de Launay (1988-1997) ±M. Gauchet (1997-)	11	108
1956-1991	Encyclopédie de la Pléiade	R. Queneau (1956-1976)	17	38
1962-1985	Idées	F. Erval (1962-1985)	33	491
1966-	Bibliothèque des Sciences humaines	P. Nora (1966-)	22	165
1971-	Bibliothèque des Histoires	P. Nora (1971-)	11	190
1985-	Folio essais	A. Gallimard (1985-1988) E. Vigne (1990-)	16 (inédits)	(536) (majorité de rééditions)
1988-	NRF Essais	E. Vigne (1988-)	17	168
1990-	Le Débat	P. Nora (1990-) M. Gauchet (1990-)	6	52
période 1962-2011	TOTAL		152	environ 1500 (sans rééd.)

Tableau 1 : Les principales collections de Gallimard comprenant des ouvrages
d’histoire des sciences pendant la période 1962-2011²⁹

²⁹ Le symbole ± précède un directeur officieux de la collection, le directeur officiel étant alors Gaston Gallimard jusqu’en 1975, Claude Gallimard de 1975 à 1988, puis Antoine Gallimard depuis 1988 ; pour les périodes où aucun directeur de collection n’est mentionné, il en va de même.

L'histoire des sciences est donc loin d'occuper une place anecdotique dans la production non littéraire des éditions Gallimard, dans la période 1962-2011. Néanmoins, cet ensemble dispose fatalement d'une très faible visibilité, tant il est dispersé dans un grand nombre de collections aux contours bien plus larges.

J'ai étudié en particulier les pratiques éditoriales des trois acteurs majeurs en sciences humaines et sociales dans la maison d'édition – François Erval, l'historien et éditeur Pierre Nora (né en 1931), et l'éditeur Éric Vigne (né en 1953) –, et l'articulation éventuelle entre leurs collections respectives. Il apparaît que Pierre Nora est le véritable chef d'orchestre des sciences humaines chez Gallimard de 1965 à 1988. À la tête de deux (dès 1968), puis trois (dès 1969) et enfin quatre (dès 1971) collections « Bibliothèque de... », auxquelles il faut ajouter la collection « Les Essais », il est, jusqu'en 1988 et l'arrivée d'Éric Vigne, presque seul maître à bord du secteur des sciences humaines de la maison d'édition, si l'on excepte la chasse gardée de la collection de poche « Idées » (1962-1985) de François Erval.

En mars 1988, Antoine Gallimard est nommé président-directeur général des Éditions Gallimard. Plus tard, pour le centenaire de la maison, il projette de lancer une nouvelle collection de sciences, et, n'ayant aucun scientifique « maison » à disposition, il décide d'embaucher Nicolas Witkoswki en décembre 2010 pour mener à bien ce projet.³⁰ Né en 1949, ce dernier, après des classes préparatoires scientifiques, a travaillé comme « nègre » pour différents éditeurs, ce qui lui a permis de se familiariser avec le milieu de l'édition. Il a également exercé le métier de professeur de physique dans l'enseignement secondaire, ce qui lui laissait suffisamment de temps pour se consacrer à diverses tâches éditoriales. Il a ainsi écrit de nombreux articles pour *Science et Avenir*, et, surtout, *La Recherche*, et également travaillé pour Larousse, puis aux éditions La Découverte. De 1992 à 2010, il a travaillé pour les éditions du Seuil, dans le secteur des sciences, aux côtés du physicien, essayiste et éditeur Jean-Marc Lévy-Leblond (né en 1940), et a ainsi collaboré activement aux collections « Science ouverte » et « Points Sciences. »

En décembre 2010, Antoine Gallimard propose donc à Nicolas Witkoswki de mettre ses pas dans les pas des deux illustres noms de la maison qui ont animé des collections en rapport avec les sciences – le biologiste et historien des sciences Jean Rostand (1894-1977) et le romancier, poète et dramaturge Raymond Queneau (1903-1976) –, ce qui ne fut pas pour rien

³⁰ Nicolas Witkowski, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 18 mai 2017.

dans sa décision d'accepter cette mission. Pour accomplir sa tâche, Witkowski avait des idées très précises. Mais les choses ne se sont pas déroulées comme prévu, et le projet de collection n'a jamais vu le jour, Gallimard décidant de se séparer de Witkowski en décembre 2011, après à peine un an de collaboration. Au cours de notre entretien de 2017, Witkowski a attribué cet échec à une raison plus fondamentale que la simple question financière : « plus profondément, je dirais qu'Antoine Gallimard, il n'y croit pas, à la science. » Pour en finir avec ce projet avorté de 2011 que j'ai exhumé, je souhaite ajouter que Witkowski a très vite rebondi après son passage chez Gallimard, puisqu'il est immédiatement devenu conseiller éditorial aux éditions Odile Jacob, fonction qu'il a occupée jusqu'à sa mort en 2020.

Pour comprendre la place singulière des sciences humaines en général et de l'histoire des sciences en particulier au sein des éditions Gallimard, il est indispensable de bien garder à l'esprit que ces éditions sont et restent avant tout des éditions littéraires. Nora est très clair, en 2017, sur la place générale des sciences humaines dans cette maison d'édition³¹ :

J'ai donc créé une sorte de secteur, qui, pendant très longtemps, est resté marginal, extérieur à la maison, dont le centre était la collection « Blanche. » Tous ces gens – Raymond Aron, Georges Dumézil, Michel Foucault – pour Claude Gallimard, c'était les copains de Pierre Nora, voilà ! Il m'a confié à la fin de sa vie qu'il n'avait jamais ouvert un bouquin que j'avais publié. Mais que voulez-vous, à partir du bouquin de mon cousin François Jacob, ça explose ! Que ce soit Foucault, Jacob ou Aron, les ventes ont fait prendre beaucoup de sens au secteur... Pour l'extérieur, ces collections de sciences humaines sont devenues soudain très visibles, d'autant qu'elles avaient un caractère universitaire, et que l'Université, dans cette période, a vu son nombre d'étudiants croître considérablement. Donc, pour l'extérieur, la maison existait beaucoup à travers ces collections, plus que par la collection « Blanche ». Elles sont devenues une vitrine de la maison, mais, à l'intérieur de la maison, elles sont longtemps restées marginales, et n'ont été vraiment intériorisées que longtemps après leur création. D'ailleurs, même encore maintenant...

Ainsi, l'une des dimensions de la renommée des éditions Gallimard est incontestablement son tableau de médailles dans les plus prestigieux prix littéraires. Entre 1913 et 2010, les éditions comptent, parmi leurs auteurs, 36 prix Nobel, 35 prix Goncourt, et 10 prix Pulitzer (Cerisier, 2011, 163). Or, parmi ces auteurs récompensés, seuls quatre peuvent être considérés comme (en partie) des auteurs du secteur des sciences humaines : Simone de Beauvoir, prix Goncourt en 1954 (pour son roman *Les Mandarins*), Albert Camus, prix Nobel de littérature en 1957, Jean-Paul Sartre, prix Nobel de littérature (décliné) en 1964, et Elias Canetti, prix Nobel de littérature en 1981. En outre, les chiffres de vente du secteur littéraire

³¹ Pierre Nora, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 22 février 2017.

sont incommensurables avec ceux du secteur des sciences humaines. En 2011, les tirages du *Petit Prince* d'Antoine de Saint-Exupéry (1946) pointent à plus de 13 millions, ceux de *L'Étranger* de Camus (1942) à plus de 10 millions, ceux de *Huis clos* (suivi de *Les Mouches*, édition de 1976) de Sartre à 3 782 000, ceux de *L'Élégance du hérisson* de Muriel Barbery (2006) à 2 130 000, ou encore ceux de *Zazie dans le métro* de Queneau (1959) à 1 752 000 exemplaires (Cerisier, 2011, 159). En comparaison, les meilleurs chiffres de vente du secteur des sciences humaines font bien pâle figure. Certes *Surveiller et Punir*, de Michel Foucault (1975) s'est vendu à plus de 272 000 exemplaires, *Les Mots et les choses*, toujours de Foucault (1966), à plus de 222 000, et *La logique du vivant* de François Jacob (1970) à plus de 126 000. Mais ces auteurs font vraiment figures d'exceptions, et leurs ventes se situent quand même un ordre de grandeur en-dessous des meilleures ventes du secteur littéraire. Dans les sciences humaines, un ouvrage qui se vend à plus de 10 000 exemplaires est déjà considéré comme un grand succès commercial. Rien d'étonnant donc à ce qu'une maison d'édition généraliste soit davantage attachée à son secteur littéraire, dont dépend fortement sa rentabilité, voire sa survie.

En outre, l'histoire des sciences est loin d'être un des domaines les plus vendeurs des sciences humaines. Vigne le rappelle en ces termes : « l'histoire des sciences n'est pas une discipline jugée très porteuse dans l'édition des sciences humaines et sociales. »³² Witkowski tire la même conclusion à propos de la place de l'histoire des sciences (vulgarisée) au sein du secteur de la vulgarisation : « l'histoire des sciences est un des secteurs de la vulgarisation qui se vend le moins. Il y a très peu de grosses ventes dans ce domaine-là. »³³

Je souhaite terminer sur une profonde ambiguïté, qui règne chez Gallimard à propos du statut de l'histoire des sciences. Cela concerne la question de savoir où classer l'histoire des sciences, d'un point de vue éditorial : au sein des sciences ou bien des sciences humaines ? On note ainsi, chez Gallimard, un véritable flou artistique, l'histoire des sciences étant tantôt classée comme un sous-genre des sciences, tantôt rangée parmi les sciences humaines. Cette ambiguïté est particulièrement manifeste dans les catalogues de la collection « Idées », où certains ouvrages d'histoire des sciences sont classés en « sciences » et d'autres en « sciences humaines. » Par ailleurs, lors des entretiens que j'ai menés avec des acteurs des éditions Gallimard, à chaque fois que je posais une question sur la place de l'histoire des sciences chez Gallimard, on me répondait systématiquement à propos de la place des sciences. Comme si l'histoire des sciences ne pouvait réellement exister que comme un appendice des sciences, et

³² Eric Vigne, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 21 juin 2017.

³³ Nicolas Witkowski, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 18 mai 2017.

était donc caractérisée principalement par son objet d'étude, les sciences, bien plus que par sa méthodologie, l'histoire (ou toute autre science sociale utilisée pour appréhender cet objet d'étude).

J'ai formulé deux hypothèses à propos de cette difficulté pratique à penser la catégorie « histoire des sciences » ou à prendre une distance critique vis-à-vis de celle de « sciences ». La première est que l'histoire des sciences a, de fait, longtemps (jusque dans l'entre-deux-guerres) été écrite quasi-exclusivement par les scientifiques eux-mêmes ou par les philosophes (Gingras, 2017, 11). La seconde, plus spécifique à Gallimard, vient du fait que, depuis le départ du biologiste Rostand, en 1968, plus aucun scientifique – ni aucun historien des sciences – n'a été impliqué dans les affaires éditoriales de Gallimard. En effet, si l'on se penche sur les acteurs majeurs du secteur « sciences humaines » des éditions Gallimard, on rencontre successivement un écrivain : Queneau ; un journaliste et traducteur : Erval ; un historien : Nora ; un philosophe et historien de formation : Vigne. C'est d'ailleurs certainement en fonction de ce manque qu'Antoine Gallimard avait décidé de recruter, en décembre 2010, Witkowski, qui abonde dans ce sens : « c'est parce qu'il n'y a aucun scientifique dans la maison qu'Antoine m'avait fait venir. »³⁴

Finalement, on aboutit à un paradoxe apparent : alors qu'aucune place spécifique explicite n'existe pour l'histoire des sciences (au sens large) au sein des éditions Gallimard, les ouvrages relevant de ce champ y sont très nombreux. Nombreux mais pas particulièrement visibles, car disséminés dans plus de dix collections de sciences humaines et sociales. Je laisserai volontiers le mot de la fin à Nora, qui confirme mon idée que la question de la place de l'histoire des sciences dans la politique éditoriale de la maison d'éditions n'a jamais été explicitée. On remarquera en outre, le glissement que ses propos opèrent subrepticement entre « histoire des sciences » et « science », et qui illustre parfaitement l'ambiguïté qui règne chez Gallimard à ce sujet : « *L'histoire des sciences*, on en a fait un peu. Cela a été, à chaque fois, une aventure personnelle, une curiosité individuelle, une occasion, une relation, mais rien de suivi vraiment... Le problème de la *science* chez Gallimard n'a jamais été résolu, et peut-être jamais abordé vraiment de front. »³⁵ J'ai finalement montré à l'occasion de ces recherches la profonde ambiguïté qui règne, dans cette maison d'édition, à propos de la place dévolue à l'histoire des sciences, qui semble osciller en permanence entre les catégories "sciences" et "sciences humaines".

³⁴ Nicolas Witkowski, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 18 mai 2017.

³⁵ Pierre Nora, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 22 février 2017. Je souligne.

En accédant, à l'occasion de ces recherches, aux archives des éditions Gallimard, j'ai également pu étudier la correspondance entre le philosophe et historien des sciences français d'origine russe Alexandre Koyré (1892-1964) et les éditions Gallimard, de 1946 à 1962, puis entre la veuve du philosophe et ces mêmes éditions, de 1966 à 1976.³⁶ Le travail sur la correspondance entre un auteur de sciences humaines et sociales et son éditeur est un type de source archivistique assez peu exploité en histoire des sciences. Que peut bien nous apprendre la correspondance entre un auteur de sciences humaines et sociales et son éditeur ? Mes recherches ont permis d'apporter des éléments de réponse à cette question à partir de cette étude de cas située au confluent entre histoire du livre (et de l'édition) et histoire et philosophie des sciences, et de mettre ainsi en évidence la fécondité pour l'historien du croisement entre ces domaines. La correspondance de Koyré avec les éditions Gallimard permet en effet de mieux comprendre ce qui peut apparaître de prime abord comme des incongruités dans sa bibliographie. En effet, dans la liste des ouvrages de Koyré édités en langue française,³⁷ on note la présence de sept livres parus chez un premier éditeur – Librairie Honoré Champion, Brentano's, Librairie Armand Colin ou Presses Universitaires de France – puis réédités ultérieurement aux éditions Gallimard. De plus, autre singularité de cette bibliographie, un unique livre de Koyré paraît chez Gallimard du vivant de son auteur, en 1962 : *Introduction à la lecture de Platon, suivi d'Entretiens sur Descartes* (Koyré, 1962), chacun des deux essais correspondants ayant déjà été publié séparément, respectivement en 1944 (pour les *Entretiens sur Descartes*) et en 1945 (pour l'*Introduction à la lecture de Platon*) chez l'éditeur new-yorkais et parisien Brentano's.

Une question se pose immédiatement à la lecture de cette bibliographie de Koyré : qui a été à l'initiative de l'intégration au catalogue des éditions Gallimard de la majeure partie des ouvrages de Koyré, après la mort de celui-ci ? Est-ce une initiative de la femme d'Alexandre Koyré ou bien de la maison d'édition ? La correspondance entre la veuve de Koyré et les éditions Gallimard permet d'apporter des éléments de réponse à cette question. En outre, les quelques rares documents relatifs à Koyré présents dans les archives des éditions Gallimard révèlent un aspect méconnu de la relation entre le philosophe et historien des sciences et la maison d'édition : leur relation est bien antérieure à la publication de l'*Introduction à la lecture de Platon* en 1962, et remonte à une première tentative avortée de travail en commun, entre 1946 et 1948.

³⁶ Les paragraphes qui suivent reprennent des passages de mon article (Bertrand, 2021).

³⁷ La bibliographie intégrale d'Alexandre Koyré est l'objet de l'ouvrage de Jean-François Stoffel (2000).

Le premier document relatif à Koyré dans les archives des éditions Gallimard est une lettre dactylographiée du 20 mars 1946, adressée à Alexandre Koyré par l'écrivain Raymond Queneau. Ce dernier est en effet entré à la Librairie Gallimard en 1938, d'abord comme lecteur et traducteur d'anglais, puis rapidement comme membre du comité de lecture, et enfin chef de ce comité et secrétaire des éditions en 1941. Il dirigera même la collection « L'Encyclopédie de la Pléiade » de 1956 jusqu'à sa mort en 1976. Par ailleurs, Koyré et Queneau se connaissent depuis au moins 1932, l'écrivain étant un auditeur assidu des enseignements du philosophe à l'École Pratique des Hautes Études (EPHE), de 1932 à 1934 (Koyré, 2016, 87-88).

Les affaires semblent très bien engagées, en 1946, pour une prochaine parution d'un ouvrage de Koyré à la Librairie Gallimard, et les archives nous apprennent même que le contrat d'édition correspondant est signé par Koyré en juin 1946. Cependant, une lettre manuscrite de Koyré du 4 février 1948, sur papier à en-tête de l'EPHE, adressée à ses « chers amis » – seule incartade au style purement factuel de cette correspondance –, dont on devine qu'il s'agit de Gaston Gallimard et de Raymond Queneau, acte la fin de cette entreprise éditoriale. Koyré y fait mention d'un préjudice subi et demande que lui soit retourné son manuscrit et que le contrat d'édition correspondant soit résilié. La réponse dactylographiée, datée du 13 février, de Gaston Gallimard regrette cette décision de Koyré, mais lui rend sa liberté de publier son ouvrage ailleurs.

Longtemps après cet épisode infructueux, la deuxième tentative de Koyré de se faire publier aux éditions Gallimard, si l'on se fie aux archives, date de l'année 1961. Entretemps, Koyré est devenu quelqu'un dans le milieu académique français. Titulaire d'une chaire à l'EPHE depuis 1931, il est pressenti, en 1951, pour devenir professeur au Collège de France (Redondi, 2016, 247). Bien que soutenue par les historiens Lucien Febvre et Fernand Braudel, sa candidature y est finalement rejetée lors du vote de l'assemblée des professeurs.³⁸ Le premier ouvrage de Koyré chez Gallimard, *Introduction à la lecture de Platon, suivi d'Entretiens sur Descartes*, paraît finalement le 21 novembre 1962 dans la collection « Les Essais. »

La nouvelle occurrence de Koyré dans les archives de Gallimard date de deux années après la mort de l'auteur, qui survient le 28 avril 1964. Il s'agit d'une lettre dactylographiée du résistant, militant politique et essayiste français Dionys Mascolo (1916-1997) adressée à Madame Alexandre Koyré, datée du 27 septembre 1966. Lecteur chez Gallimard à partir de

³⁸ Koyré échoue de peu, avec 18 votes positifs et 21 votes négatifs (Koyré, 2016, 175-176).

janvier 1942, Mascolo travaille toujours chez Gallimard en 1966, et contacte donc la veuve de Koyré pour se renseigner sur la possibilité d'obtenir les droits français et de traduire l'ouvrage de Koyré publié en 1965 par la maison d'édition britannique Chapman & Hall : *Newtonian Studies* (Koyré, 1965), un recueil en anglais de sept essais écrits par Koyré entre 1950 et 1961. Les archives de Gallimard permettent de savoir qu'après ce premier contact entre Mascolo et Madame Koyré, le dossier avance rapidement, puisque la décision de publier la traduction française des *Newtonian Studies* est prise par Claude Gallimard dès novembre 1966, et que le contrat d'édition est signé par Madame Koyré le 27 janvier 1967. Le délai requis par les traductions des deux essais inédits en langue française, retarde la publication des *Études newtoniennes*, qui intervient finalement le 18 novembre 1968 dans la collection « Bibliothèque des idées » (Koyré, 1968).

Dans les années qui suivent, de 1971 à 1976, plusieurs ouvrages de Koyré déjà publiés en France, à la Librairie Armand Colin, aux Presses Universitaires de France, ou à la Librairie Honoré Champion, passent dans le catalogue Gallimard, mais il n'y a aucune trace de ces transferts dans les archives de la maison d'édition relatives à Koyré. Néanmoins, comme pour les *Études newtoniennes*, on peut supposer que c'est Gallimard qui est à la manœuvre, et cherche ainsi à rapatrier l'ensemble de l'œuvre de Koyré dans son catalogue. Cet éditeur est en effet connu pour avoir une politique d'auteurs très développée, voire parfois agressive. L'originalité du cas de Koyré tient au fait que le processus se déroule presque intégralement de façon posthume, par l'intermédiaire de sa veuve. Précisément, le dernier événement concernant Koyré visible dans les archives de Gallimard est un échange de lettres entre la femme du philosophe et Robert Gallimard, en 1975. Ce dernier échange illustre à la fois la grande attention que Madame Koyré porte à la diffusion de l'œuvre de son mari, l'importance que l'éditeur accorde à la promotion de ses auteurs, et la diligence avec laquelle il répond aux requêtes de ceux-ci ou de leurs ayants-droits.

Pour mieux comprendre la politique de l'éditeur à l'égard de l'œuvre de Koyré, je me suis également penché sur les chiffres des ventes nettes de ses ouvrages publiés aux éditions Gallimard, en date du 7 octobre 2020.³⁹ L'ensemble des sept ouvrages de Koyré édités chez Gallimard représente à cette date un total d'environ 162 500 ventes nettes. Par ailleurs, l'ouvrage de Koyré le plus vendu est *Du monde clos à l'univers infini* (Koyré, 1973), avec environ 65 000 ventes, ce qui n'est pas étonnant pour ce qui reste certainement le livre le plus

³⁹ L'ensemble de ces chiffres ont été gracieusement fournis à l'auteur par Christelle Furlon-Kouayep, des éditions Gallimard.

influent et le plus commenté de l'auteur.⁴⁰ Le pari commercial des éditions Gallimard de miser sur l'œuvre de Koyré a donc été amplement réussi. Koyré est ainsi progressivement devenu un des seuls auteurs français du domaine de l'histoire et de la philosophie des sciences à représenter un authentique succès éditorial, l'un des seuls autres exemples étant constitué par le philosophe, anthropologue et sociologue Bruno Latour (1947-2022), auteur phare des éditions La Découverte.

Pour revenir à la dimension matérielle de ce travail, il importe d'insister sur la relative pauvreté des échanges entre l'auteur et son éditeur. Il s'agit d'un genre d'écriture très particulier, sans fioriture, essentiellement factuel, et concernant principalement des questions de contrats. Du point de vue quantitatif également, les archives sont assez pauvres et ne contiennent qu'un nombre très restreint d'échanges. Néanmoins, rien ne permet de savoir si les échanges entre Koyré et Gallimard ont effectivement été très peu nombreux ou si les éditions Gallimard n'ont archivé qu'une petite partie de ces échanges. Il faut en effet garder à l'esprit qu'un éditeur n'est pas un archiviste, et n'a certainement pas la culture de l'archivage systématique, sauf peut-être pour les aspects juridiques de ses échanges. Cette légèreté, quantitative comme qualitative, des archives éditoriales, constitue assurément un défi pour l'historien des sciences. Il s'agit pour lui de faire parler des documents à la fois rares et peu diserts. Ce type de source documentaire présente donc un contraste certain avec les habituelles correspondances, d'auteurs ou de savants, dans lesquelles l'historien doit sélectionner ce qui lui semble pertinent parmi un grand nombre de lettres, parfois très longues et au contenu substantiel. Ici, dans le cas de la correspondance entre un auteur de sciences humaines et sociales et son éditeur, la perspective est complètement inversée : c'est avec la rareté, non plus avec l'abondance, que l'historien des sciences doit composer.

Malgré tout, les différentes lettres échangées entre Alexandre Koyré et les éditions Gallimard, puis entre la veuve de l'auteur et ce même éditeur, permettent assurément de rendre visible tout un travail de mise en valeur éditoriale d'une œuvre, qui n'apparaît pas à la simple lecture d'une liste bibliographique. Notamment, elles permettent de mettre en lumière des tentatives éditoriales avortées ou des stratégies d'un éditeur pour promouvoir l'ensemble de l'œuvre de l'un de ses auteurs. Dans le cas d'Alexandre Koyré, le passage de son œuvre dans le catalogue des éditions Gallimard participe également d'une opération de canonisation d'un

⁴⁰ Selon le site Google Scholar (consulté le 16 février 2023), la version française de *Du monde clos à l'univers infini* a été citée 714 fois, et sa version anglaise (Koyré, 1957) 2468 fois, soit de loin le plus grand nombre de citations pour un ouvrage de Koyré.

auteur de sciences humaines et sociales. Le statut éditorial, et même intellectuel, de Koyré en est profondément modifié : de spécialiste de l'histoire de la philosophie, il accède à la dimension de grand auteur de sciences humaines et sociales, avec le nombre de ventes qui sied à ce statut, même si c'est de façon posthume. Avant le transfert de son œuvre chez Gallimard, Koyré était essentiellement cantonné à un public de philosophes, ses livres émergeant principalement chez des éditeurs spécialisés – dans la philosophie, comme la Librairie Philosophique J. Vrin, ou dans les sciences humaines, comme la Librairie Honoré Champion – , des éditeurs universitaires, comme les Presses Universitaires de France, ou encore des éditeurs plus confidentiels, comme Brentano's. Avec son arrivée chez un grand éditeur généraliste comme Gallimard, Koyré se fait en quelque sorte un nom propre : on n'achète plus de simples études sur Newton, sans beaucoup de considération pour leur auteur, mais on acquiert désormais un livre d'Alexandre Koyré, avec le nom de l'auteur comme critère essentiel du choix.

J'ai publié ce travail sur la correspondance entre Alexandre Koyré et les éditions Gallimard, puis entre la veuve de Koyré et la maison d'éditions, dans la rubrique « Document » de la *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, sous le titre : « Alexandre Koyré, sa veuve et son éditeur (1946-1976). Une politique d'auteur » (Bertrand, 2021). Cet article y est précédé de la reproduction des fac-similés de lettres de Raymond Queneau, d'Alexandre Koyré, de Gaston Gallimard, de Dionys Mascolo, de Madame (Dorothée) Koyré, et de Robert Gallimard, avec l'aimable autorisation de Madame Marie-Christine Kulterer, ayant-droit d'Alexandre Koyré, et des éditions Gallimard.

Dans une tout autre optique, mais toujours dans une perspective d'histoire de l'histoire des sciences, mon collègue Wolf Feuerhahn et moi avons conçu en 2016 un projet éditorial original de témoignages d'actrices et d'acteurs de l'histoire, la philosophie et la sociologie des sciences (sciences de la nature et sciences humaines et sociales) et des techniques des soixante dernières années. Ce projet au long cours a donné lieu à un ouvrage, intitulé *Arpenter l'histoire des sciences. Témoignages de chercheurs français contemporains*, publié par les Presses universitaires de Strasbourg en septembre 2023 (Bertrand, Feuerhahn, 2023a).⁴¹ Nous avons recueilli les témoignages d'acteurs vivants de cette histoire, en nous limitant à des chercheuses et des chercheurs ayant principalement travaillé en France, et qui sont nés au plus tard en 1944, c'est-à-dire qui avaient au moins 18 ans en 1962. Ce choix, en partie arbitraire, était surtout

⁴¹ Ce paragraphe et les suivants sont issus de l'introduction que nous avons rédigée pour l'ouvrage collectif (Bertrand, Feuerhahn, 2023b).

destiné à restreindre le nombre d'acteurs potentiellement mobilisés par notre enquête. En outre, l'année 1962 est souvent considérée comme importante, dans ce milieu académique français, car elle a vu la parution de *La structure des révolutions scientifiques* de Thomas Kuhn (Kuhn, 1972), l'un des ouvrages canoniques du domaine, et qui fut aussi un best-seller. Nous avons donc contacté, sans autre critère formel que celui de leur année de naissance, des acteurs ayant traversé toute la période de bouleversements profonds qu'a connue ce domaine de recherches. Ce choix n'est pas sans conséquences. Les acteurs en question ont été formés avant l'entrée des *Science studies* dans le paysage des études sur les sciences et les techniques. Lorsque certains évoquent cette entrée, c'est donc généralement moins en tant que promoteurs du domaine qu'en tant que récepteurs de ces travaux. Par ailleurs, l'échantillon de témoignages recueillis ne peut prétendre à une quelconque représentativité, mais, à l'échelle nationale, il garde une pertinence. Voilà pourquoi nous n'avons contacté que des chercheurs ou des enseignants-chercheurs ayant principalement œuvré en France. L'enquête à l'échelle internationale serait passionnante à mener, mais était très largement hors de notre portée. Ceci ne signifie pas que les enjeux qui ressortent de ces témoignages soient uniquement franco-centrés. Tous ces acteurs n'ont cessé d'être en contact avec des collègues travaillant dans d'autres pays, ont eux-mêmes parfois enquêté sur des objets très éloignés de la France, et ils en parlent largement dans les témoignages recueillis.

Au départ, nous avons ainsi contacté une vingtaine de témoins choisis non pour leur célébrité – notion éminemment équivoque et difficile à circonscrire –, mais pour la variété de leurs centres d'intérêt et de leurs formations disciplinaires initiales : philosophie, histoire, épistémologie, histoire des sociabilités savantes, histoire des sciences sociales, sociologie des sciences et des institutions scientifiques, critique de sciences, mathématiques, physique... Certains avaient accepté, mais sont décédés avant de rendre leur texte, d'autres n'ont pas donné suite. Douze ont répondu positivement. Il s'agit (par ordre chronologique de leur année de naissance) de Michel Serres (décédé en 2019, après que nous avons recueilli son témoignage en 2016), Bertrand Saint-Sernin, Daniel Roche (décédé en 2023), Roshdi Rashed, Viktor Karady, Anne Fagot-Largeault, Denis Woronoff, Jean-Marc Lévy-Leblond, Hourya Sinaceur, Jean-Pierre Dupuy, Jean Dhombres, et Christian Topalov. Une caractéristique de cette liste saute aux yeux : sur ces douze acteurs, deux seulement sont des femmes. Nous voyons essentiellement deux causes à cette asymétrie de genre, qui ne relève pas d'un choix délibéré de faire la part belle aux hommes : la première est sans aucun doute la faible proportion de femmes parmi les historiens des sciences de cette génération ; la seconde est plus contingente :

un certain nombre de femmes (trois, précisément) que nous avons contactées n'ont pas souhaité participer à cette entreprise ou sont décédées avant d'avoir pu écrire leur témoignage.

À tous ces acteurs nous avons demandé d'écrire un texte en répondant à quatre questions :

1) Comment êtes-vous entré(e) dans le domaine de l'histoire des sciences (au sens large) ? Quel avait été votre parcours antérieur ?

2) Pourriez-vous caractériser ce domaine au moment où vous y entrez (son périmètre, ses modes de socialisation, ses références canoniques, ses pratiques dominantes, ses objets d'investigation, ses principaux lieux de production...) ?

3) Comment scanderiez-vous et caractériseriez-vous son développement, national comme international, depuis lors (son périmètre, ses acteurs, ses lieux, ses controverses...) ?

4) Quelle place accorderiez-vous aux facteurs politiques dans les évolutions françaises de ce domaine ?

Nous avons laissé les auteures et auteurs entièrement libres de choisir la forme de leur contribution, en suivant, ou pas, la scansion induite par ces quatre questions. Surtout, nous avons décidé de publier ces contributions telles quelles – à l'exception de notes de bas de pages supplémentaires nécessaires à l'intelligibilité des textes –, sans chercher à en harmoniser la forme, tant la variété de styles déployée par les auteurs nous semble refléter à la fois la singularité de chacune de leurs façons académiques d'écrire que la diversité et l'hétérogénéité profondes du domaine de l'histoire des sciences. Afin de conserver la part de spontanéité induite par le protocole d'enquête, les témoignages rétrospectifs ainsi recueillis n'ont pas été retouchés par leur auteur, une fois remise la version définitive.

Les témoignages ainsi rassemblés sont publiés dans l'ouvrage collectif par ordre chronologique des dates de naissance des auteurs (à une exception près) : Bertrand Saint-Sernin, philosophe des sciences, né en 1931 ; Daniel Roche (1935-2023), historien ; Roshdi Rashed, historien des sciences, né en 1936 ; Viktor Karady, sociologue et historien des sciences sociales, né en 1936 ; Anne Fagot-Largeault, psychiatre, historienne et philosophe des sciences, née en 1938 ; Denis Woronoff, historien des techniques et de l'industrie, né en 1939 ; Jean-Marc Lévy-Leblond, physicien, critique de sciences et éditeur, né en 1940 ; Hourya Sinaceur, historienne et philosophe des sciences, née en 1940 ; Jean-Pierre Dupuy, philosophe des sciences, né en 1941 ; Jean Dhombres, mathématicien et historien des sciences, né en 1942 ; Christian Topalov, sociologue et historien des sciences sociales, né en 1944 ; Michel Serres

(1930-2019), philosophe. Trois ans avant son décès, Michel Serres avait très aimablement souhaité participer à l'entreprise, mais sous la forme d'un entretien, qui se trouve donc en fin de volume.

Il ressort de l'ensemble constitué par ces douze témoignages un paysage très riche et fortement discuté. La singularité des parcours et des perspectives, des débats et des controverses y apparaît nettement. Wolf et moi ne prétendons nullement que ces témoignages recueillis dans les années 2010 puissent remplacer un travail en archives sur les transformations du domaine. Au contraire, nous assumons leur caractère situé et pensons qu'ils sont au moins autant des témoignages sur la configuration de ces années 2010. C'est en effet à cette aune que les auteurs reviennent sur leurs trajectoires.

À la fin du volume, nous revenons, dans une courte postface (Bertrand, Feuerhahn, 2023c), sur quelques remarques que la mosaïque de témoignages variés ainsi recueillis nous semble susceptible d'inspirer, malgré notre volonté délibérée de ne surtout pas réduire la richesse et la diversité du domaine de l'histoire des sciences que ces textes permettent de mettre en lumière. Nous espérons vivement que ces traversées situées de soixante ans de recherches françaises en histoire des sciences donneront, malgré leur hétérogénéité – ou plutôt grâce à celle-ci –, aux lecteurs curieux une idée fidèle des enjeux et des débats qui animent ce domaine depuis des décennies et suscitera chez eux l'envie de se plonger dans cette littérature foisonnante.

2. Et s'il n'y avait toujours eu (pour moi) qu'une seule question, celle du réel ?

"We live inside a dream..."

(Phillip Jeffries, personnage incarné par David Bowie, in David Lynch, *Twin Peaks: Fire Walk with Me*, 1992).

*On voudrait être poussière,
Poussière pour savoir ce qu'il en est.
Ce qu'il en sera misère,
On veut anticiper.*

(Jean-Louis Murat, « Le Monde intérieur », in *Le Moujik et sa femme*, 2002)

Au-delà – et en amont – de ma passion pour la thermodynamique et pour les livres, je crois qu'il y a une question encore plus fondamentale logée au cœur de mes *Havres gris* : la question du réel. Dans mes souvenirs, les premières interrogations sur le statut de ce que l'on nomme habituellement la réalité, ou le réel, sont nées de mes premières lectures de science-fiction, à l'adolescence. En outre, pendant ces années-là, je jouais très régulièrement, avec plusieurs amis – dont Sébastien Jallade, qui est resté un ami cher et qui vit depuis 2007 au Pérou, où il réalise des films documentaires et mène des recherches indépendantes d'anthropologie sur les politiques publiques de la mémoire et des chemins incas (Jallade, 2011, 2012, 2015, 2018) –, au jeu de rôle *Donjons et Dragons*. Dans ce cadre, nous incarnions des personnages qui évoluaient dans un monde imaginaire, qui avait pourtant toutes les apparences, pour nous, de la réalité. Il existait par ailleurs, un autre jeu de rôle, auquel je n'ai pas joué, mais dont le titre évocateur était *Rêve de dragon*. Les personnages y vivaient des aventures dans un monde qui s'avérait être le produit du rêve d'un dragon. Toujours à la même époque, je découvrais l'œuvre magnifique du professeur de mathématiques et écrivain britannique Lewis Carroll (1832-1898), et notamment son superbe ouvrage mêlant imaginaire et absurde, *Les Aventures d'Alice au pays des merveilles* (1865). Enfin, féru de cinéma, c'est également dans ces années-là que j'ai découvert les films du réalisateur états-unien Stanley Kubrick (1928-1999), et notamment son film *Shining* (1980), adapté d'un roman de l'écrivain états-unien Stephen King, et qui reste pour moi une œuvre cinématographique importante. Dans certaines scènes de ce film, il est impossible de savoir si l'action se déroule dans le monde objectivé du récit ou dans l'imagination torturée et psychotique du personnage principal, ou, pour le dire autrement, de déterminer quelle est la nature de la réalité qui s'offre au regard du spectateur.

C'est en classe de terminale, pendant les cours de philosophie de Madame Siron, que j'ai pris conscience du fait que cette question du statut du réel, qui me semblait alors relever exclusivement des univers artistiques ou ludiques, était l'objet de réflexions de multiples penseurs, au moins depuis le mythe de la caverne de Platon, dans l'Antiquité grecque. À cette occasion, via quelques extraits étudiés en cours, je découvris pour la première fois une partie des réflexions développées dans la *Critique de la raison pure* du philosophe Emmanuel Kant, pour lequel mon admiration est aujourd'hui toujours aussi intense. Connaissant mon profond intérêt pour ce philosophe, et pour la question du statut du réel, mon collègue et ami Wolf Feuerhahn m'a conseillé, il y a quelques années, de me plonger dans l'œuvre du philosophe allemand, naturalisé suédois, Ernst Cassirer, né dans l'Empire allemand en 1874 (et mort à New York en 1945), et représentant d'une variété de néokantisme désignée sous l'appellation d'« école de Marbourg. » Sur les conseils de Wolf, j'ai ainsi lu avec passion la traduction française de son ouvrage de 1910, *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept* (Cassirer, 1977). Je crois que je n'avais jamais rien lu d'aussi profond et rigoureux à propos de la connaissance scientifique. La théorie de la connaissance de Cassirer et son analyse de la place des concepts dans les sciences de la nature m'a semblé lumineuse. J'ai le sentiment que même Kant n'avait pas su expliquer aussi rigoureusement en quoi le réel empirique (ou phénoménologique) ne nous est accessible que par la mobilisation préalable d'un système conceptuel à visée totalisante et de portée universelle.

Il reste néanmoins, à mon avis, un point dur sur lequel les réflexions philosophiques de Cassirer, comme celles de Kant, achoppent : d'où vient cette universalité des concepts ? Qu'est-ce qui fait qu'un indien d'Amazonie est capable d'utiliser les mêmes concepts (par exemple d'infini, d'énergie, etc.) qu'un trader new-yorkais ou un paysan du bocage normand ? Le *réel en soi* nous est inaccessible, j'en suis moi aussi convaincu, mais pourquoi se dégage-t-il toujours, à terme, un consensus parmi les humains à propos du *réel pour nous* et de son interprétation conceptuelle ? Est-ce tout simplement lié à la physiologie du cerveau humain ? Le déterminisme cérébral, cher à nombre de neuro-cognitivistes et autres neuro-scientifiques, me semble relever davantage de l'acte de foi que de la démonstration empirique bien construite. Je crois intimement qu'il y a là une question intrinsèquement insoluble, et destinée à nourrir éternellement débats et controverses. C'est peut-être la raison profonde pour laquelle cette problématique me passionne. Je me plonge d'ailleurs depuis peu, lorsque mes recherches et mes enseignements me laissent quelques moments perdus, dans la lecture de la *Philosophie des formes symboliques*, œuvre philosophique en trois parties de Cassirer, et j'y retrouve la même puissance d'investigation rationnelle et la même rigueur d'analyse que dans son ouvrage de

1910. Voilà en tout cas une autre des multiples dettes intellectuelles que j'ai contractées envers mon ami Wolf Feuerhahn, dont j'ai déjà expliqué au paragraphe IV.1 comment il avait donné l'impulsion initiale à mes huit dernières années de recherches, en me replaçant sur le chemin de mes *Havres gris*.

Au cours de ma formation de physicien, j'ai retrouvé cette problématique du statut du réel en découvrant la mécanique quantique, un domaine de la physique qui mobilise à la fois le formalisme mathématique et les questions d'interprétations philosophiques des théories physiques, deux facettes importantes de mes curiosités intellectuelles de longue date.

Pour éclairer le statut de l'option philosophique réaliste dans le cadre de la mécanique quantique, il me semble indispensable de se pencher sur les réflexions du physicien et philosophe des sciences français Bernard d'Espagnat (1921-2015), que j'ai déjà évoqué au paragraphe I.1.⁴² Né en 1921 dans le Lot, d'Espagnat intègre l'École polytechnique en 1942, et obtient un doctorat d'État en physique théorique (des hautes énergies), avec une thèse sur les mésons (particules tenues pour responsables de certaines interactions au sein des noyaux atomiques), soutenue en 1950 sous la direction du physicien français Louis de Broglie (1892-1987).⁴³ D'abord chercheur au CNRS, de 1947 à 1957, il travaille également avec le physicien italien (naturalisé états-unien) Enrico Fermi (1901-1954)⁴⁴ à l'université de Chicago, en 1951-1952, puis avec le physicien danois Niels Bohr (1885-1962)⁴⁵ à l'Institut de physique de l'université de Copenhague, en 1953-1954. Il poursuit sa carrière comme physicien théoricien au Centre d'études et de recherches nucléaires (le plus grand centre de physique des particules du monde, davantage connu sous son acronyme : CERN), à Genève, de 1954 à 1959. Nommé maître de conférences à la faculté des sciences d'Orsay de l'université de Paris (qui deviendra l'Université Paris XI-Orsay en 1971) en 1959, puis professeur en 1965, il y poursuit ses recherches au sein du Laboratoire de physique théorique et particules élémentaires, qu'il dirige à partir de 1980, jusqu'à sa retraite en 1987. Il est ensuite professeur émérite, et est nommé

⁴² L'intégralité de la suite de ce paragraphe reprend des passages de mon ouvrage publié en 2023 aux éditions Classiques Garnier : *Extension du domaine de la thermodynamique. Anatomie d'une controverse* (Bertrand, 2023a).

⁴³ Louis de Broglie obtient le prix Nobel de physique en 1929 « pour sa découverte de la nature ondulatoire des électrons » (ma traduction, cf. www.nobelprize.org/prizes/physics/1929/summary/ - site consulté le 16 avril 2022).

⁴⁴ Enrico Fermi obtient le prix Nobel de physique en 1938 « pour sa démonstration de l'existence de nouveaux éléments radioactifs produits par bombardements de neutrons, et pour sa découverte des réactions nucléaires créées par les neutrons lents »

(ma traduction, cf. www.nobelprize.org/prizes/physics/1938/summary/ - site consulté le 16 avril 2022).

⁴⁵ Niels Bohr obtient le prix Nobel de physique en 1922 « pour ses contributions à l'étude de la structure des atomes et du rayonnement qui en émane »

(ma traduction, cf. www.nobelprize.org/prizes/physics/1922/summary/ - site consulté le 16 avril 2022).

membre de l'Académie des sciences morales et politiques, dans la section Philosophie, en 1996. D'Espagnat est donc un physicien reconnu, spécialiste de la mécanique quantique, ayant travaillé avec plusieurs prix Nobel du domaine. Cependant, à côté de ses travaux de physique théorique, il se distingue, à partir des années 1960, par des recherches sur les enjeux philosophiques de la mécanique quantique (Espagnat, 1965), dans le cadre desquelles il se place progressivement dans le sillage des réflexions de Bohr.

Pour analyser l'apport de D'Espagnat dans les débats autour du réalisme, je m'appuierai principalement sur son ouvrage de 1985, *Une incertaine réalité. Le monde quantique, la connaissance et la durée* (Espagnat, 1985).⁴⁶ En premier lieu, il est nécessaire de préciser, pour éviter toute ambiguïté sémantique, que d'Espagnat parle indifféremment de « réel en soi » ou de « réalité indépendante (de l'homme) », d'un côté, et de « réel pour nous » ou de « réalité empirique » de l'autre, pour se référer aux deux catégories que j'ai définies au paragraphe I.1 en les rapprochant des notions kantienne de « noumènes » et de « phénomènes » (IR 9). De plus, pour désigner la position philosophique réaliste, je l'ai dit au paragraphe I.1, il utilise plutôt, et de façon interchangeable, les expressions de « réalisme mathématique » ou « réalisme physique ».

Selon D'Espagnat, il n'est plus possible, aujourd'hui, d'examiner la question philosophique du réalisme (physique) sans mobiliser les résultats les plus récents de la physique contemporaine : « il s'avère impossible de traiter de façon valable des questions générales dont il s'agit sans faire référence, à tels ou tels endroits, à certains développements, techniques dans leur structure et dont pourtant les résultats dépassent le simple cadre de la technique. En d'autres termes il faut hélas, en ces recherches, connaître la physique théorique » (IR 3). Il se propose néanmoins, dans son ouvrage de 1985, « de laisser implicite la plus grande part de l'attirail technique sous-jacent » (IR 3), et ajoute que « n'importe quel traité de mécanique quantique permet d'en prendre connaissance et donc, si le désir en vient, de contrôler par le menu les bases [...] de ces choses du domaine public » (IR 4).

Pour D'Espagnat, jusqu'à récemment, la plupart des physiciens ont préféré renoncer à se poser explicitement des questions de type philosophique pour interpréter les résultats de la mécanique quantique. Ils s'efforçaient alors de tracer implicitement une frontière étanche entre l'usage des règles de calcul et de prédiction de la mécanique quantique, à la validité

⁴⁶ Dans l'ensemble du présent paragraphe, les références à cet ouvrage sont désignées, entre parenthèses dans le texte, par l'abréviation IR suivie du numéro de la page, ou des pages, concernée(s).

expérimentale incontestable, et leur conviction, souvent informulée explicitement, de l'existence de « la réalité en soi, qui pourrait bien être composée d'une sorte de milieu subquantique, pour l'heure inaccessible à l'expérience mais que rien n'interdit de concevoir comme local » (IR 8). Pour bien comprendre cette conviction que d'Espagnat prête à la plupart des physiciens, il est essentiel, à ce stade, d'expliciter la notion de localité, connexe de celle de réalité. En physique, un événement est dit « local » s'il est défini précisément en un point de l'espace-temps (IR 6). En d'autres termes, pour notre auteur, les physiciens du XX^e siècle ont longtemps cherché à conserver le caractère local de la description physique et la possibilité du réalisme physique, hérités des siècles précédents, même si la mécanique quantique semblait les inciter à s'en éloigner et à renoncer à la fois à la notion de localité et à celle de connaissance du *réel en soi*. L'exemple paradigmatique d'un tel physicien est, pour D'Espagnat, le physicien d'origine allemande Albert Einstein (1879-1955) : « c'est précisément ce but, cette exigence d'une possibilité d'interprétation réaliste précise qui – pour une grande part – a déterminé l'orientation d'Einstein, au cours des années vingt, vers des tentatives théoriques différant des idées quantiques » (IR 35). Einstein affirmait en effet que « la mécanique quantique ne [constituait] pas une description complète de la réalité » (IR 102).

Pour entrer plus avant dans la question du réalisme physique au sein de la mécanique quantique, d'Espagnat introduit une autre notion de physique, proche de celle de localité, et dont je ne pense pas pouvoir faire ici l'économie : la séparabilité, « identifiée à la thèse selon laquelle la réalité est constituée d'entités [...] localisables dans des régions distinctes et n'ayant les unes sur les autres que des influences décroissant avec la distance » (IR 100). Il se trouve que le principe de séparabilité a pu être mis à l'épreuve expérimentalement, en mécanique quantique, à partir des années 1970, et que les nombreux résultats expérimentaux obtenus depuis lors sont unanimes, notamment ceux – les plus robustes – obtenus par l'équipe du physicien français Alain Aspect en 1982.⁴⁷ La conclusion de D'Espagnat est formelle : « en ce qui concerne le "principe de séparabilité" il existe maintenant une preuve de sa fausseté » (IR 112). Or, cette non-séparabilité – ou d'ailleurs la notion quasiment équivalente de non-localité – en mécanique quantique a une conséquence immédiate : il est impossible de décrire un système quantique en termes d'entités indépendantes aux propriétés déterminées par les valeurs

⁴⁷ Alain Aspect est né en 1947, et a obtenu, pour ses travaux dans ce domaine, entre autres multiples distinctions, la médaille d'or du CNRS en 2005, la médaille Niels Bohr en 2013 et le prix Nobel de physique en 2022 (conjointement avec le physicien états-unien John Clauser et le physicien autrichien Anton Zeilinger) « pour des expériences avec des photons intriqués, établissant la violation des inégalités de Bell et ouvrant la voie à la science de l'information quantique » (ma traduction, cf. www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary/ - site consulté le 4 octobre 2022). Notons que son équipe de physiciens expérimentaux, et de nombreuses autres équipes dans le monde, ont continué, depuis 1982, à perfectionner leurs expériences, et que toutes, sans exception, ont confirmé, avec une robustesse croissante, les résultats initiaux (Aspect, 2017).

précises de grandeurs physiques, lorsque ce système n'est pas observé (IR 143-144). Autrement dit, pour D'Espagnat, les grandeurs physico-mathématiques considérées par la mécanique quantique ne constituent pas des éléments du *réel en soi*, mais uniquement des éléments du réel empirique pour l'observateur qui effectue une mesure sur un système quantique : « on ne peut donc, en général, considérer que les valeurs des grandeurs physiques des systèmes quantiques préexistent à leur mesure » (IR 138).

Certes, continue d'Espagnat, les entités microscopiques que nous appelons électron, photon, etc. existent certainement, mais la physique quantique (ou toute autre théorie physique faisant aujourd'hui consensus) est incapable de nous fournir la moindre connaissance scientifique concernant leur *réalité en soi* ; nous ne pouvons obtenir qu'une connaissance relative à leur *réalité pour nous*, au moment où nous mesurons telle ou telle de leurs caractéristiques. Et d'Espagnat de conclure : « le réalisme physique représente un "idéal" dont nous sommes extrêmement loin. Et une comparaison avec les conditions qui ont régné dans le passé nous montre même que nous sommes considérablement plus loin de la réalisation de cet idéal dont il s'agit que nos prédécesseurs ne pensaient l'être il y a cent ans » (IR 146). Il ajoute même : « je ne crois pas qu'il soit possible – ni dans le futur ni *a fortiori* maintenant – de formuler une théorie vraiment crédible de la réalité en soi » (IR 295).

Pour expliciter précisément sa position vis-à-vis du statut du réel, d'Espagnat écrit : « nous nous trompons quand nous estimons que les notions d'espace, de temps, d'espace-temps, d'évènements et même de position des choses sont des descriptions "fidèles" de traits de la réalité indépendante. Ces notions ne sont, peut-être, rien d'autre que de simples outils servant à la description des phénomènes, c'est-à-dire de la réalité empirique ou en d'autres termes de l'ensemble de l'expérience communicable » (IR 218). Finalement, selon D'Espagnat, là où Kant proposait, à partir de raisonnements philosophiques *a priori*, d'opérer une distinction entre *réel en soi* et *réel pour nous*, la mécanique quantique offre de solides arguments scientifiques pour valider *a posteriori* cette distinction : « au vu des difficultés du réalisme physique [...], il me paraît raisonnable de faire, entre la réalité empirique et la réalité indépendante, une distinction qui a certaines analogies partielles (mais aussi certaines différences) avec une des thèses de Kant » (IR 218). Néanmoins, ici, on voit bien, à travers son emploi de l'expression « certaines différences », que d'Espagnat tient à opérer un contraste entre les positions kantienne et les siennes propres. Il y revient à de nombreuses reprises dans son ouvrage, et insiste tout particulièrement sur un aspect précis qui distingue sa position de celle de Kant :

pour le philosophe allemand, le *réel en soi* est intrinsèquement inconnaissable, inaccessible, alors que d'Espagnat estime que « la réalité indépendante est seulement voilée » (IR 235).

Il s'agit là d'une allusion à la principale thèse philosophique de D'Espagnat, qui repose sur ce concept de « réel voilé », auquel il a déjà consacré un chapitre de son livre de 1979, *À la recherche du réel. Le regard d'un physicien* (Espagnat, 1981, 79-102), et qui est le thème central de celui de 1982, *Un atome de sagesse. Propos d'un physicien sur le réel voilé...* (Espagnat, 1982). Pour D'Espagnat, en effet, il existe une analogie de structure entre la *réalité empirique* accessible via la physique et le *réel en soi*, même si « l'analogie dont il s'agit n'a pas nécessairement à équivaloir à une connaissance » (IR 168). Il explicite longuement ce qu'il entend par « réel voilé » dans un passage où il revient en détail sur sa position philosophique à propos du statut du réel (IR 219) :

Le fait que ces notions⁴⁸ très élaborées soient en définitive utilisées par la communauté scientifique plutôt que d'autres doit donc bien, au moins en partie, être dû à une information que celle-ci a reçue de l'extérieur. Il est par conséquent naturel de penser qu'elles réfléchissent quelque chose de la réalité indépendante. Mais, encore une fois, au vu des analyses précédentes il semble établi qu'elles ne réfléchissent ce "quelque chose" que d'une manière à ce point déformée qu'il est impossible à l'esprit humain de reconstruire sans arbitraire, à partir d'une information tellement pauvre, une image fidèle de ce que la réalité indépendante est en soi. En d'autres termes le réel est, pour nous, voilé et le restera. L'épithète de « voilé » a ici, comme on l'a compris, une signification intermédiaire entre celles des termes « connaissable » et « inconnaissable ».

D'Espagnat développe donc une position philosophique qui se tient à la fois à distance du réalisme physique, pour lequel le *réel en soi* est connaissable, grâce à la physique, et de la position kantienne, pour laquelle le *réel en soi* est inconnaissable (IR 270).

Dans la continuité de cette analyse de la pensée de D'Espagnat, je souhaite désormais me pencher sur les réflexions à propos du statut du réel qu'a développées l'une des philosophes des sciences que je lis régulièrement depuis mes années de thèse de physique, Isabelle Stengers. Dans un ouvrage collectif de 1988, Stengers écrit : « la mécanique quantique procède d'une *innovation théorique*, de la découverte simultanée de ce qu'une description que nous pensions réaliste est en fait une idéalisation, c'est-à-dire une construction, et de ce que cette idéalisation trouve ses limites dans le domaine atomique [...] la position et la vitesse sont relatives à nous, mais leur caractère relatif ne peut être défini d'aucun point de vue extérieur » (Stengers, 1988, 138). Mais, au-delà de cette simple allusion, la philosophe aborde de front cette question du

⁴⁸ L'auteur se réfère ici aux notions d'espace-temps et de courbure de l'espace, qu'il vient d'aborder.

réalisme dans plusieurs livres écrits à la fin des années 1990, et dans un livre écrit au milieu des années 2000 (Stengers, 2006). En effet, de novembre 1996 à mai 1997, Stengers publie *Cosmopolitiques*, une série de sept courts volumes, d'une centaine de pages chacun, coédités par les éditions La Découverte (Paris) et Les Empêcheurs de penser en rond (Le Plessis-Robinson).⁴⁹ Elle entend y « parcourir le paysage discordant des savoirs issus des sciences modernes » (Stengers, 2003a, 5). En s'appuyant majoritairement sur l'histoire de la physique, sur les pratiques que la physique met en œuvre et promeut, ainsi que sur celles qu'elle prétend disqualifier, Stengers tente de « faire exister sept paysages problématiques, sept tentatives pour créer la possibilité d'une cohérence là où règne aujourd'hui l'affrontement » (*ibid.*).

Le volume III des *Cosmopolitiques*, *Thermodynamique : la réalité physique en crise* (*ibid.*, III, 167-251), s'attache à montrer comment les praticiens de la thermodynamique se sont efforcés, tout au long du XIX^e siècle, de remplacer progressivement la dynamique par la thermodynamique comme science physique unificatrice, avant de s'incliner et de voir leur discipline cantonnée au rôle de description phénoménologique d'une réalité uniquement apparente, dont la dynamique continuerait de prétendre accéder seule à la dimension fondamentale (ou *en soi*). Le volume IV, *Mécanique quantique : la fin du rêve* (Stengers, 2003b, IV, 7-98), raconte la façon dont l'émergence de la mécanique quantique a d'abord mis en danger les prétentions hiérarchiques de la dynamique classique. Stengers y affirme cependant que les leçons du physicien Niels Bohr n'ont pas été entendues par les autres physiciens, qui ont finalement préféré faire de la mécanique quantique une sorte de prolongement, d'héritière de la dynamique classique, et préserver ainsi l'essentiel de leur vision scientifique du monde.

Pour Stengers, c'est en fonction de la physique, aussi bien dans l'affrontement ou le rejet que dans l'imitation ou la séduction, et même très souvent en son sein même, que se sont configurés les débats et que se sont formulées les questions centrales de l'histoire des sciences modernes. Et parmi ces questions, il en est une qui sert de fil d'Ariane au récit – parfois labyrinthique – de Stengers : celle du statut des connaissances acquises par l'intermédiaire des pratiques scientifiques modernes ou, pour la formuler de façon encore plus précise, celle du statut de la réalité appréhendée et décrite par les sciences modernes. Les *Cosmopolitiques* en

⁴⁹ Cette série est rééditée par La Découverte en 2003 sous la forme de deux tomes, le premier reprenant les trois premiers volumes initiaux, numérotés I à III, et le second reprenant les quatre suivants, numérotés IV à VII (Stengers, 2003a et 2003b). Les renvois à cette série seront libellés en précisant, après la mention du tome de 2003 (a ou b) concerné, le numéro du livre (parmi les sept qui composent la série) en chiffres romains et le numéro de la (ou des) page(s) concernée(s) en chiffres arabes.

font un enjeu historique et philosophique majeur de l'histoire des sciences physiques, aussi bien pour la philosophe et historienne des sciences qui l'analyse que pour les scientifiques eux-mêmes, au moins depuis le XIX^e siècle.

Commençons par examiner ce que Stengers dit des physiciens et de leur positionnement vis-à-vis du « réalisme physique », pour reprendre l'expression de D'Espagnat. Dès le début du premier volume, elle affirme que, pour les physiciens du tournant du XX^e siècle, ce qui importe « est la construction d'une réalité "ontologique" qui aurait le pouvoir d'expliquer ce que nous observons » (Stengers, 2003a, I, 22). Sans entrer dans des débats purement philosophiques, qui m'éloigneraient de mon propos, je signale simplement qu'ici « réalité ontologique » est une autre façon de dire « réel en soi. » Pour Stengers, les physiciens sont donc, au début du XX^e, très majoritairement convaincus que leur science permet d'accéder à ce *réel en soi*. Stengers s'attarde alors sur la position atypique du physicien et philosophe Ernst Mach : l'impossibilité dans laquelle sont la plupart de ses contemporains physiciens d'accepter la position de Mach permet, selon Stengers, de définir en creux la conception majoritaire chez les physiciens de cette époque. En effet, Stengers considère que Mach enjoint ses collègues à faire le « deuil de toute syntaxe qui implique l'adresse à une réalité autonome » (*ibid.*, I, 25), ce qui est inacceptable pour la majorité d'entre eux.

Cependant, Stengers précise que Mach n'est pas le seul physicien à défendre une position non réaliste au tournant du XX^e siècle. Elle classe en effet les physiciens français Henri Poincaré (1854-1912) et Pierre Duhem (1861-1916 ; Duhem, 1981) dans la même catégorie qu'Ernst Mach et, pour les désigner tous les trois, parle de « ces physiciens pour qui la "valeur" de la science tenait d'abord à la netteté de la distinction à laquelle elle oblige par rapport aux rêves d'un savoir rejoignant la vérité du monde » (*ibid.*, III, 216). D'ailleurs, la thèse principale du volume III de *Cosmopolitiques*, attestée par son sous-titre « la réalité physique en crise », est précisément que le tournant du XX^e siècle est le moment où, sous l'impulsion des développements de la thermodynamique, l'histoire de la physique hésite : « Quel physicien va-t-il naître du second principe [de la thermodynamique] ? [...] Laquelle des valeurs désormais divergentes fera-t-il triompher, celle du réalisme ou celle d'une construction qui célèbre la singularité des cas qui font coïncider description et raison ? » (*ibid.*, III, 213). Mais le verdict historique est, selon Stengers, sans appel : Poincaré, Mach et Duhem sont finalement les vaincus de cette « guerre des sciences » évoquée dès le titre du premier volume de *Cosmopolitiques*, c'est-à-dire les vaincus de l'histoire de la physique. S'est ainsi imposée, nous dit-elle, « l'exigence qui a été reprise par des physiciens tout au long du XX^e siècle : nous

exigeons que soit reconnue et respectée notre foi dans la valeur réaliste de la physique, et nous ne nous satisferons de nos théories que si elles confirment cette foi, si elles ne nous mènent pas à trahir la vocation du physicien » (*ibid.*, III, 221-222). D'ailleurs, Stengers considère que cette victoire historique du réalisme ne s'est plus démentie par la suite, et est encore valide au moment même où elle écrit, à la toute fin du XX^e siècle.

Mais Stengers va bien au-delà de ce récit historique, et explicite à de nombreuses reprises, dans ses *Cosmopolitiques*, sa propre inclinaison à l'égard de la question du réalisme physique. Sa position philosophique consiste à ne pas opposer l'idée d'un *réel pour nous* construit par nos descriptions scientifiques et celle d'un *réel en soi*, autonome, indépendant de nous. Les entités décrites par les physiciens sont, pour elle, à la fois, et indissolublement, fabriquées par les physiciens et dotées d'une existence autonome (*ibid.*, I, 26). Pour expliciter cette position, elle s'attarde sur l'exemple du neutrino, une particule élémentaire postulée théoriquement en 1930 et détectée expérimentalement pour la première fois en 1956. À propos du neutrino, elle écrit qu'il « représente ici tous ces êtres qui, à la fois, ont été construits par la physique et existent sur un mode qui affirme leur indépendance par rapport au temps du savoir humain » (*ibid.*, I, 27). Autrement dit, pour elle, il existe bel et bien un *réel en soi* et, ayant détecté l'existence d'un élément de ce *réel en soi*, les scientifiques en proposent une description, qui fait sens pour nous et que nous nommons « neutrino », tout en lui conférant certaines propriétés dans le cadre de cette description, qui est donc aussi une construction. Le neutrino est donc un élément du *réel pour nous*, mais il témoigne, sans coïncider avec lui, de l'existence d'un *réel en soi*, qui était là avant que l'on ne s'y intéresse et qui sera certainement toujours là lorsque l'humanité aura disparu (*ibid.*, I, 28). Il y a donc bien pour Stengers deux niveaux de réalité corrélés, qui ne se réduisent pas l'un à l'autre, mais coexistent au sein de cette entité que nous appelons neutrino. Nous ne pouvons accéder à la connaissance du « neutrino en soi », mais le « neutrino pour nous », que les physiciens ont construit, est la façon que nous avons de conceptualiser et de nous représenter cet élément de la réalité indépendante : « le neutrino existe à la fois et indissociablement "en soi" et "pour nous" » (*ibid.*, I, 29).

Indéniablement, Stengers n'adhère donc pas à la position philosophique du réalisme physique, qui considère que ces niveaux de réalité ne font qu'un, et que la physique nous permet de décrire fidèlement le *réel en soi*. Néanmoins, contrairement à la position que nous avons attribuée à Kant, Stengers ne considère pas que nous ne puissions rien connaître à propos de ce *réel en soi*, puisque c'est lui qui nous informe et nous permet de proposer des descriptions scientifiques, même si ces dernières sont multiples et qu'aucune ne peut prétendre correspondre

exactement au *réel en soi* auquel elles se réfèrent. Stengers développe donc sur le statut du réel une position extrêmement proche de celle de Bernard d'Espagnat,⁵⁰ qu'il a nommée « réel voilé » : le réel absolu ne peut être découvert par les humains, car il nous est « voilé », mais les descriptions du réel pour nous ne sont pour autant pas arbitraires et sont les résultats, non univoques, de nos interactions avec ce *réel voilé*. Il ne s'agit donc pas, nous dit Stengers, pour les sciences physiques, d'accéder « à la vérité d'un monde dont une pratique se serait bornée à découvrir l'accès », ni « d'un monde attendant d'être découvert » (*ibid.*, I, 30). Pour qualifier sa position philosophique, Stengers utilise le terme « constructiviste », et le caractérise ainsi : « aucun de nos savoirs, aucune de nos convictions, aucune de nos vérités ne peut réussir à transcender le statut de "construction" » (*ibid.*, I, 45). Mais, selon elle, si tout est construction, tout n'est pas *que* construction. Nos constructions ne sont pas arbitraires et les entités ainsi construites ont une vérité, celle des effets qu'elles produisent, c'est-à-dire celle des moyens qu'elles nous donnent pour interagir dans et avec le monde extérieur. Stengers revendique donc explicitement une « démarche ouvertement constructiviste » (*ibid.*, I, 63).

Quittons *Cosmopolitiques* quelques instants pour remarquer que, près de dix ans plus tard, Stengers revient sur la question du statut de la réalité, au sein d'un ouvrage publié en 2006, *La vierge et le neutrino. Les scientifiques dans la tourmente* (Stengers, 2006), dans lequel, conformément au titre du livre, elle utilise à nouveau le cas du neutrino pour examiner la question du réel. En s'attardant sur ce qui fait la spécificité de l'expérimentation scientifique, elle souligne le rôle, dans cette pratique expérimentale, de « la nature », qui, bien que nous ne puissions espérer en avoir une connaissance directe, a le « pouvoir de faire une différence entre les différentes interprétations » (*ibid.*, 40), c'est-à-dire entre les différentes versions de la « connaissance » que construisent les scientifiques. Stengers en déduit qu'il est légitime de défendre un certain type de « réalisme », qui n'est certainement pas le « réalisme physique », mais correspond plutôt à la position défendue par D'Espagnat lorsqu'il parle de « réel voilé », ou encore, dans les termes de notre auteure : « le type de réalisme associé à la réussite expérimentale » (*ibid.*, 42). Il s'agit de la conviction suivante : le fait qu'un dispositif expérimental obtienne toujours la même réponse, de façon reproductible, signifie qu'il témoigne d'une interaction avec la « réalité indépendante » (*ibid.*, 41-49). Mais Stengers s'empresse d'ajouter que cela ne justifie pas de franchir un pas supplémentaire et de s'abandonner à la « prétention dévastatrice » des scientifiques qui acceptent que cette réussite expérimentale « puisse se présenter comme découverte d'une "réalité indépendante" » (*ibid.*,

⁵⁰ Stengers renvoie explicitement à la pensée de D'Espagnat dans le volume IV des *Cosmopolitiques* (Stengers, 2003b, IV, 61 et 21, note 19).

49). Elle insiste sur ce point, qui lui paraît crucial : « je n'ai pas écrit que la réussite expérimentale donne accès à une réalité "connaissable", telle qu'elle existe, indépendamment de la question expérimentale » (*ibid.*, 50-51). Elle file d'ailleurs la métaphore du rendez-vous pour décrire la réussite d'une expérimentation : « jamais la réussite d'un rendez-vous ne permet de connaître ce qui y vient "tel qu'il est", mais seulement de confirmer l'hypothèse en terme de laquelle le rendez-vous a été organisé » (*ibid.*, 51). Finalement, elle parle de « vision scientifique du monde » pour la conception – qu'elle récusé mais que partagent, selon elle, la plupart des physiciens et beaucoup d'autres scientifiques – « d'une réalité explicable en termes d'atomes, de molécules (ou de tout ce qu'on voudra) » (*ibid.*, 55).

Le volume IV des *Cosmopolitiques*, dédié à la mécanique quantique, permet à Stengers d'approfondir la question du statut du réel. Tout d'abord, elle y revient longuement sur sa position philosophique concernant le réel, déjà présentée dans le premier volume, mais en s'appuyant cette fois-ci sur les développements de la mécanique quantique. Selon elle, cette nouvelle physique a recours à un nouveau type de dispositif expérimental et donne ses lettres de noblesse à la notion de « mesure par détection », qu'elle oppose à la « mesure galiléenne », qui opérait « en termes de cause pleine et d'effet entier » (Stengers, 2003b, IV, 12), ou, pour le dire autrement, d'identification de l'effet mesuré à la cause de cet effet. La mesure par détection s'adresse à des éléments de réalité, certes autonomes, mais « qui ne donnent pas à celui qui les décrit le pouvoir de les identifier » (*ibid.*, IV, 18).

Pour la formuler dans les termes que j'emploie depuis le début de ce mémoire, la position de Stengers est la suivante : grâce à la mesure par détection, nous pouvons détecter l'existence d'un (élément de) *réel en soi*, mais nous ne pouvons en esquisser qu'une description *pour nous*, qui n'est que le reflet des réponses aux questions posées par notre instrument de mesure. Si l'entité autonome détectée par une telle mesure est soumise à des lois, il s'agit de « lois auxquelles la détection ne donne pas accès » (*ibid.*, IV, 19). Stengers mobilise alors l'exemple des atomes détectés (Perrin, 1991) par le physicien français Jean Perrin (1870-1942) : ils « existent "vraiment" au sens où il leur "arrive" des choses et où ils "font arriver" des choses, au sens où ils affectent leur environnement, auquel appartient le détecteur, et peuvent être affectés par lui. Mais la "réalité", ici, a perdu le pouvoir de dicter comment elle doit être décrite » (Stengers, 2003b, IV, 19). En somme, pour la philosophe, la *réalité en soi* de l'atome ne coïncide pas avec sa description comme *réel pour nous*, que Stengers désigne comme « objet » : « entre l'objet et la "réalité" qu'il désigne existe une distance irréductible, celle qui sépare détection et identification » (*ibid.*, IV, 20). Finalement, conclut-elle, l'atome est bel et

bien réel, mais nous ne le connaissons que par l'intermédiaire de ses interactions avec son environnement (*ibid.*, IV, 33-34).

Stengers poursuit son récit en affirmant que la tentative de résoudre la crise de la physique par une réconciliation entre mécanique classique et mécanique quantique a échoué : « de Broglie et Schrödinger se font "déposséder" de leur création, la "fonction d'onde" [...] on apprend en effet que ce que décrit la fonction d'onde n'est pas du tout une "réalité physique". En fait, la fonction d'onde ne décrit apparemment rien du tout, elle permet seulement de prévoir des *probabilités*, les probabilités que la mesure d'une quantité physique ait telle ou telle issue » (*ibid.*, IV, 30-31). Stengers se focalise alors principalement sur le physicien danois qui a, selon elle, mis en échec cette tentative, et auquel elle consacre un chapitre intitulé « La leçon de Niels Bohr » (*ibid.*, IV, 36-49).

Alors qu'il est déjà lauréat du prix Nobel de physique de 1922, Bohr propose en 1927 une nouvelle interprétation de la mécanique quantique, dans le cadre de laquelle la signification physique d'une observation est inséparable du dispositif de détection qui a permis cette observation. Pour Bohr, selon le récit de Stengers, le choix d'un dispositif de mesure/détection détermine seul le type de description que nous produisons : « La leçon de la mécanique quantique, selon Bohr, ne porte pas sur la connaissance mais sur la réalité elle-même [...] Pour Bohr, la "réalité" doit être dite *indéterminée* indépendamment du dispositif de mesure susceptible de conférer une interprétation déterminée à une observation » (*ibid.*, IV, 40-41).⁵¹ La philosophe estime que, pour Bohr, même si ce ne sont pas les termes qu'il emploie, le *réel en soi* existe, mais nous n'avons accès qu'à la connaissance du *réel pour nous*, par l'intermédiaire de nos mesures. Stengers utilise alors, pour faire comprendre la position de Bohr – qui est aussi la sienne –, la métaphore de la connaissance d'autrui dans le cadre des relations humaines : « Comment rêver de connaître l'autre "en soi", indépendamment de la relation que j'ai avec lui, indépendamment de nos capacités respectives d'entrer en relation, entre nous et avec d'autres ? » (*ibid.*, IV, 45-46). Bohr ne renonce donc pas, selon Stengers, à connaître le *réel pour nous*, mais il renonce simplement à la prétention de connaître le réel indépendant de nos mesures, de nos mises en relation expérimentales, de nos pratiques, de nos questions : « il n'y a pas de réponse sans question » (*ibid.*, IV, 48). Pour mieux comprendre la pensée de Bohr,

⁵¹ Le récit de Stengers ne semble cependant pas rigoureusement fidèle aux réflexions de Bohr, dans la mesure où celui-ci n'emploie pas le terme de « réalité ». Je remercie Olivier Darrigol pour cette observation, qui suscite chez moi le désir de me pencher de plus près, dans un avenir proche, sur les écrits de Bohr lui-même, afin d'aller au-delà de ce qu'en disent ses commentateurs, notamment d'Espagnat et Stengers.

Stengers renvoie ses lecteurs à « n'importe lequel des livres de Bernard d'Espagnat depuis 1981 » (*ibid.*, IV, 21, note 19).

Là encore, comme pour Poincaré, Mach et Duhem quelques décennies plus tôt, le verdict de l'histoire de la physique est, selon Stengers, sans appel : Bohr a échoué, il a été écouté, mais sa leçon n'a pas été entendue par les physiciens. Elle poursuit : « les physiciens n'ont pas renoncé au rêve » d'accéder à la connaissance du *réel en soi*, et « ne se sont pas le moins du monde sentis obligés par les obligations qui, selon Bohr, découlaient de la nouveauté quantique » (*ibid.*, IV, 49). Le paradoxe que souligne Stengers est que cette position des physiciens équivaut à la négation de l'interprétation de Bohr et de ses collaborateurs de la mécanique quantique, dite « interprétation de Copenhague », qui est pourtant décrite dans quasiment tous les manuels comme l'interprétation « orthodoxe » de la mécanique quantique (*ibid.*, IV, 48). Même s'ils ont tous adopté le formalisme de la mécanique quantique et salué la validité, jamais démentie expérimentalement, de l'ensemble de ses prédictions, les physiciens ont refusé, selon Stengers, de « renoncer à faire valoir l'exigence d'une réalité transparente et intelligible d'elle-même » (*ibid.*, IV, 57).

Au-delà des enjeux d'interprétation de la mécanique quantique, je souhaite continuer, dans la suite de ma carrière d'historien des sciences (et, dans une moindre mesure, de la philosophie), à réfléchir au déploiement historique de cette question, essentielle à mes yeux, du statut métaphysique de la réalité à laquelle les sciences de la nature permettent d'accéder, et surtout à étudier la façon dont les physiciens ont abordé cette question depuis le XIX^e siècle. Il s'agira notamment d'approfondir les réflexions que j'ai amorcées en prenant ici comme seuls points d'appui la philosophie de Kant et les livres de D'Espagnat et de Stengers. Je poursuivrai à cette occasion ma plongée dans l'œuvre du philosophe Ernst Cassirer, référence étonnamment absente des discussions des deux auteurs précédents, et explorerai en particulier les pensées des philosophes états-unienne Nancy Cartwright (née en 1944), libanais Elie Zahar (né en 1937), et néerlandais Bass van Fraassen (né en 1941), entre autres.⁵²

Surtout, j'entends interroger à l'avenir les nombreux écrits à vocation philosophique et les arguments échangés par plusieurs physiciens (également philosophes) européens de la fin du XIX^e siècle, en étudiant parallèlement le contexte culturel dans lequel se sont déroulés leurs débats. Je fais ici allusion aux réflexions développées, entre autres, par les savants suivants : le

⁵² On trouve des textes de ces philosophes (et d'autres) dans le second volume, sous-titré *Naturalismes et réalismes*, de l'anthologie *Philosophie des sciences* (Laugier, Wagner, 2004).

physicien autrichien Ludwig Boltzmann (1844-1906), qui inscrit ses travaux de thermodynamique et de mécanique statistique dans le cadre une vision du monde atomiste (Boltzmann, 1987) ; le physicien français Henri Poincaré, qui discute les résultats de Boltzmann dans les années 1890, et contribue aussi activement aux différentes controverses scientifiques et philosophiques de son époque, notamment à propos du réalisme et du déterminisme en physique (Poincaré, 1902) ; le physicien français Pierre Duhem, qui, rejetant la vision atomiste du monde, élabore une construction de l'ensemble de la physique fondée sur la notion d'énergie, indépendamment de l'éventuelle existence d'entités microscopiques (Duhem, 1911) ; le chimiste germano-balte Wilhelm Ostwald (1853-1932), qui affirme lui-aussi que la nature de la réalité est énergétique (Ostwald, 1910), avant de se convertir à l'atomisme en 1911 ; le physicien autrichien Ernst Mach, qui développe une vision évolutionniste et pragmatiste des sciences sur la base d'un principe d'économie de pensée (Mach, 1908).

V. Interdisciplinarités. Y réfléchir pour les pratiquer après les avoir pratiquées sans y réfléchir (1997-)

*Face à l'étendue de ma peine,
Ne suis-je qu'un sauvage qu'on réfrène ?
Face aux vérités qu'on m'assène,
Comme des coups de bambou ou d'ébène.*

(Benjamin Biolay, « Négatif », in *Négatif*, 2003)

*Et qu'on nous épargne à toi et moi,
Si possible très longtemps,
D'avoir à choisir un camp.*

(Jean-Jacques Goldman, « Né en 17 à Leidenstadt », in *Fredricks, Goldman, Jones*, 1990)

Ce chapitre est consacré au dernier des trois termes choisis pour le sous-titre de ce mémoire : *interdisciplinarités*. En me retournant sur vingt-six années d'activité, il m'apparaît en effet que la pratique de l'interdisciplinarité constitue un fil conducteur de l'ensemble de mes recherches. J'ai néanmoins choisi de mettre ce terme au pluriel afin d'éviter d'essentialiser cette notion, et pour insister sur la pluralité irréductible des pratiques interdisciplinaires. Je présenterai ici mes réflexions à propos de l'interdisciplinarité, successivement au sein des sciences de la nature, puis entre sciences de la nature et sciences humaines et sociales, et finalement au sein des sciences humaines et sociales.

1. L'interdisciplinarité au sein des sciences de la nature. La pratiquer, puis y réfléchir

Pendant une grande partie mes treize années de recherches en tant que physicien, j'ai beaucoup arpenté l'intersection entre physique, chimie et biologie. Certes, j'étais avant tout praticien des sciences physiques, mais j'ai souvent mobilisé, théoriquement comme empiriquement, des notions de chimie, et j'ai, à plusieurs reprises, manipulé des systèmes expérimentaux d'intérêt biologique. Il est donc manifeste que j'ai effectué, au sein des sciences de la nature, un certain nombre de recherches que l'on peut qualifier *a posteriori*, sans hésitation, d'interdisciplinaires, même si j'ai, dans cette première partie de ma vie professionnelle, rarement mobilisé explicitement la notion d'interdisciplinarité, et encore moins réfléchi à cette catégorie en tant que telle, lorsque j'étais physicien. Une fois devenu historien des sciences, j'ai opéré un retour réflexif sur les types de pratiques dans lesquelles j'avais

auparavant inscrit mes recherches de physicien, en particulier en examinant les discours et les usages concrets consistant à mobiliser conjointement les sciences physiques et les sciences chimiques.

Avant de présenter ces premières réflexions, appuyées sur l'étude empirique de la promotion institutionnelle des recherches interdisciplinaires en science des matériaux, au CNRS, je souhaite mentionner un biais potentiel de ma propre démarche. Même si j'ai adopté, dans les recherches que je m'apprête à résumer, un style chronologique très factuel, pour relater l'histoire de la science des matériaux au CNRS, je ne peux en aucun cas revendiquer le statut d'observateur neutre. En effet, j'ai été, pendant treize ans, comme le rappelle le premier chapitre de ce mémoire, enseignant et chercheur dans le domaine de la physique des interfaces, qui est un champ de recherche très proche de celui de la science des matériaux. En outre, j'ai siégé quatre années, de 2004 à 2008, en tant que secrétaire scientifique élu d'une section de physique et de chimie du Comité national de la recherche scientifique (CoNRS, section 11 : « Systèmes supra et macromoléculaires : propriétés, fonctions, ingénierie »). J'ai alors développé un regard critique plus aiguisé en même temps qu'un attachement profond envers cet organisme central de la recherche française qu'est le CNRS, et à l'égard de son Comité national. Mon travail est donc très certainement parsemé, en divers endroits, d'une sévérité exagérée, ou au contraire d'une indulgence excessive, à leur encontre.

Au début des années 1980, le CNRS a pris une initiative importante dans le domaine de la recherche sur les matériaux, secteur en plein essor dans divers pays depuis les années 1960, en créant le Programme interdisciplinaire de recherche sur les matériaux, ou PIRMAT, qui a existé de 1982 à 1994. Le premier objectif de mon travail a été de retracer l'histoire de ce programme, en m'appuyant principalement sur deux types de sources historiques. Premièrement, les archives institutionnelles du CNRS sur la période étudiée livrent à la fois des documents très généraux, tels que les rapports d'activités annuels du CNRS, et des documents plus spécifiques au PIRMAT. Ces derniers sont relativement incomplets et bien des documents officiels sont absents des archives. Néanmoins, courriers et notes internes rédigés par les différents acteurs de l'époque permettent de reconstituer de nombreux événements pertinents pour faire l'histoire du PIRMAT. Le second type de sources historiques utilisé au cours de ce travail est un corpus d'histoire orale. Il s'agit d'entretiens semi-directifs que j'ai réalisés auprès d'acteurs du PIRMAT et de la direction du CNRS de l'époque étudiée. Mon travail s'est ainsi focalisé sur les interactions entre les principaux acteurs institutionnels de la genèse et de la vie du PIRMAT, au cours de ses treize années d'existence.

Un deuxième objectif a été d'utiliser cette enquête de « micro-histoire » institutionnelle pour aborder la question de la mise en œuvre de recherches interdisciplinaires dans le cadre institutionnel du CNRS. En effet, comme l'intitulé complet du programme PIRMAT l'indique, l'un de ses principaux objectifs officiels était de promouvoir l'interdisciplinarité, au CNRS, dans le domaine des matériaux. Afin de pouvoir analyser les apports et les limites du PIRMAT en termes de promotion concrète de recherches interdisciplinaires, il apparaît nécessaire de préciser ce que les acteurs de cette histoire entendent par « interdisciplinarité ». Tout d'abord, indépendamment des discours de ces acteurs, selon la définition que propose le chimiste et philosophe des sciences allemand Joachim Schummer, on pourra considérer qu'un champ de recherche est « pluridisciplinaire », ou encore « multidisciplinaire », lorsque plusieurs disciplines sont impliquées dans ce champ (Schummer, 2004, 444). J'ai donc choisi d'utiliser le terme « pluridisciplinarité » lorsque différentes disciplines sont convoquées dans des recherches, sans véritable interaction entre ces disciplines. En revanche, toujours selon Schummer, on parle généralement d'« interdisciplinarité » lorsque des recherches impliquent de véritables interactions entre différentes disciplines. Bien entendu, même dans ce cadre normatif contraint, il n'est pas toujours évident de qualifier de façon indiscutable un type de recherche de « pluridisciplinaire » ou d'« interdisciplinaire ». Le sociologue et philosophe Edgar Morin reconnaît d'ailleurs qu'il s'agit de termes « polysémiques et flous » (Morin, 2003, 10). À propos de l'interdisciplinarité, l'historien des sciences Dominique Pestre ajoute que « la notion est toutefois ambiguë, d'autant plus que l'interdisciplinarité n'est pas un bien en soi mais une approche qui, dans certains contextes seulement, peut s'avérer centrale » (Pestre, 2002). Pestre insiste sur le fait que tout travail scientifique implique nécessairement un degré minimal d'interdisciplinarité : « L'interdisciplinarité, à un premier niveau, est inhérente à tout travail scientifique. Par définition, les étudiants sont formés via des ensembles plus ou moins interdisciplinaires et les chercheurs sont socialisés aux paradigmes et modes de travail de diverses communautés » (*ibid.*). Néanmoins, ce « premier niveau » d'interdisciplinarité dont parle Pestre ici me semble plutôt correspondre à ce que Schummer définit comme « pluridisciplinarité », car il n'implique pas d'interaction entre les différentes disciplines.

Au-delà de ce premier niveau, ou degré minimal d'interdisciplinarité, que représente pour Schummer la pluridisciplinarité, on peut, selon lui, définir divers autres degrés d'interdisciplinarité (Schummer, 2004, 431). Afin de simplifier mon approche, j'ai proposé de distinguer seulement deux types sensiblement différents d'interdisciplinarité. J'ai ainsi appelé « interdisciplinarité au sens faible », ou tout simplement « interdisciplinarité », la mise en œuvre d'interactions entre différentes disciplines, avec comme objectif de résoudre un

problème concret, que ce problème soit issu du secteur industriel ou du monde académique. A *contrario*, j'ai nommé « interdisciplinarité au sens fort » la pérennisation d'un champ de recherche (partiellement) indépendant issu des interactions entre plusieurs disciplines. Ce second type d'interdisciplinarité requiert, selon Schummer, l'« instauration d'une nouvelle infrastructure sociale indépendante pour le champ de recherche interdisciplinaire correspondant. » Ce type de recherche interdisciplinaire évolue fréquemment vers « la formation d'une nouvelle discipline (hybride) » (Schummer, 2004, 463). En conséquence, on peut se demander s'il est réellement possible de pérenniser un champ de recherche interdisciplinaire, ou si sa pérennisation entraîne nécessairement sa transformation en une nouvelle discipline. Peut-être que ce que j'ai choisi de définir comme interdisciplinarité au sens fort n'est rien d'autre que l'apparition, ou l'émergence, d'une nouvelle discipline. Il y aurait alors, en quelque sorte, un paradoxe de l'interdisciplinarité : la pérennisation de recherches interdisciplinaires entraînerait leur propre disparition par création d'une nouvelle discipline.

L'une des raisons pour lesquelles l'interdisciplinarité pose problème, et suscite de nombreuses controverses, est la tendance des disciplines à se refermer sur elles-mêmes et à éviter les interactions avec les autres disciplines. On retrouve là une idée assez proche de celle de « style de pensée » introduite en 1935 par le médecin, biologiste et sociologue polonais Ludwik Fleck (1896-1961), dans son ouvrage *Genèse et développement d'un fait scientifique* (Fleck, 2008). Une phrase en particulier de cet ouvrage de Fleck me semble bien résumer cette problématique du cloisonnement disciplinaire : « Plus nous allons au fond d'un domaine du savoir, plus l'assujettissement à un style de pensée est fort » (*ibid.*, 145).

Morin aborde également le « risque de l'hyperspécialisation du chercheur » inhérent à l'institutionnalisation des disciplines : « La frontière disciplinaire, son langage et ses concepts propres vont isoler la discipline par rapport aux autres et par rapport aux problèmes qui chevauchent les disciplines. L'esprit hyperdisciplinaire va devenir un esprit de propriétaire qui interdit toute incursion étrangère dans sa parcelle de savoir » (Morin, 2003, 5). Les risques liés à l'hyperspécialisation de la pratique scientifique sont également analysés, en 1986, par le sociologue allemand Ulrich Beck, dans son ouvrage *La société du risque* (Beck, 2008) : « plus la spécialisation est poussée, plus l'ampleur, le nombre et l'impondérabilité des effets induits par l'activité scientifico-technique sont importants » (*ibid.*, 392). Pour lutter contre ce cloisonnement en spécialités scientifiques disciplinaires, Beck prône le développement d'« une capacité nouvelle à la spécialisation sur le lien » (*ibid.*, 346). Il s'agit, pour Beck, de corriger le cloisonnement disciplinaire par la création d'une spécialisation interdisciplinaire centrée sur

l'ensemble des effets potentiels d'un objet scientifique. Morin et Beck se rejoignent donc ici dans l'appel aux scientifiques à intégrer l'interdisciplinarité dans leurs pratiques.

Historiquement, selon Pestre, la promotion volontariste de l'interdisciplinarité apparaît dans la première moitié du XX^e siècle, et davantage du côté des laboratoires industriels que des laboratoires académiques (Pestre, 2002) :

L'interdisciplinarité fait alors son apparition comme outil de management : en tant que revendication et action concertée et voulue, cette interdisciplinarité ne naît en effet pas dans les milieux universitaires mais dans les laboratoires de recherche industriels. Parce qu'il y a des problèmes concrets à résoudre, parce qu'il faut réduire des goulots d'étranglement dans le développement technique, et que cette réduction ne peut être le fait que d'une science de pointe encore en devenir, les patrons de ces laboratoires convoquent et recrutent des personnels aux qualifications et aux métiers complémentaires.

Ensuite, pour Pestre, « les années de la seconde guerre mondiale et de la guerre froide voient émerger d'autres types de mélanges disciplinaires et de métiers » (*ibid.*).⁵³ Dans la même perspective, l'historien des sciences états-unien Peter Galison a montré l'importance des dialogues entre disciplines dans le cadre du projet Manhattan de création de la bombe atomique, aux États-Unis, pendant la seconde guerre mondiale (Galison, 2024). Pour Pestre, c'est au contact de leurs collègues impliqués dans le complexe militaro-industriel que les scientifiques académiques en viennent à modifier eux aussi leurs pratiques, et que l'interdisciplinarité devient une valeur majeure dans la communauté scientifique universitaire internationale, et donc notamment au CNRS.

En effet, le CNRS s'est efforcé de créer des outils institutionnels pour promouvoir les recherches interdisciplinaires en son sein dès les années 1970. La création des Programmes interdisciplinaires de recherche (PIR), en 1975, et plus particulièrement du PIR sur les matériaux (PIRMAT), en 1982, participent d'une volonté politique, au sommet du CNRS, de favoriser l'émergence et la pérennisation de champs de recherche considérés comme interdisciplinaires. Dans le cadre de mon travail sur la science des matériaux au CNRS, j'ai rappelé à grands traits l'évolution du CNRS et de sa politique scientifique depuis sa création, en 1939, jusqu'à la création du PIRMAT, en 1982 (Picard, 1990 ; Guthleben, 2009). La prise en compte du fonctionnement du CNRS et de la mise en place progressive de ses outils de politique scientifique, notamment de ceux destinés à promouvoir l'interdisciplinarité, est

⁵³ Sur la modification des pratiques scientifiques, notamment aux États-Unis, sous l'influence de la seconde guerre mondiale et de la guerre froide, voir l'ouvrage collectif (Dahan, Pestre, 2004).

indispensable à la compréhension de la genèse, puis de l'histoire, du PIRMAT. J'ai ensuite réalisé une sorte de chronique de la vie du programme. Cette approche très factuelle et descriptive m'a semblé préférable à une mise en récit, essentiellement pour deux raisons. D'une part, sur un terrain encore vierge, il s'agissait avant tout de rassembler et de stabiliser les faits et la succession des événements. D'autre part, l'histoire étant récente et les acteurs toujours vivants, il semblait prudent de séparer les phases de description et d'interprétation. De sa création, en mars 1982, à la remise de son rapport d'audit du PIRMAT, en février 1990, le programme a été dirigé par le physicien Jean Hanus (1936-2020). La seconde période du PIRMAT s'est étendue du renouvellement du programme, en 1990, à sa disparition, en 1994, au profit d'une structure beaucoup plus légère. Le chimiste (métallurgiste) Gérard Beck (né en 1938) a été le directeur du programme pendant ces cinq années. À partir des archives du CNRS, j'ai établi un bilan des treize années d'existence du PIRMAT, en termes de moyens financiers et d'actions entreprises, et proposé une évaluation de ses succès et de ses échecs relatifs à ses objectifs explicites de promotion de recherches interdisciplinaires.

Cette biographie du PIRMAT m'a permis d'observer précisément, dans le cas particulier de la science des matériaux, l'attitude du CNRS, en tant qu'institution, à l'égard d'un champ de recherche interdisciplinaire. Les Programmes interdisciplinaires de recherche (PIR), créés en 1975, ont constitué le premier véritable outil de politique scientifique destiné à promouvoir l'interdisciplinarité au CNRS. Or, la courte vie du PIRMAT (1982-1994) montre les nombreux obstacles qu'ont rencontrés ces initiatives originales : des volontés politiques éphémères fluctuant au gré des directeurs du CNRS, des crédits bien inférieurs aux ambitions affichées, et, surtout, la structure cloisonnée en disciplines de l'institution chargée de porter les programmes concernés. Dans les faits, ni le CNRS ni les universités françaises n'ont pu, ni probablement voulu, institutionnaliser la science des matériaux comme discipline académique.

Pour prolonger ce travail, Bernadette Bensaude-Vincent et moi avons cherché à comparer le statut de la science des matériaux en France avec son statut aux États-Unis, dans la même période. Nous avons ainsi publié ensemble un article dans la revue anglophone *Minerva* (Bertrand, Bensaude-Vincent, 2011). En ce qui concerne les États-Unis, Bernadette avait déjà étudié en détail l'émergence de la science des matériaux comme discipline universitaire à part entière, dans les années 1960 (Bensaude-Vincent, 2001). Elle a notamment décrit l'apparition de nombreux départements « Science et génie des matériaux » dans les universités américaines au tout début des années 1970. Par ailleurs, dans son article de 2004 consacré à l'interdisciplinarité dans les publications du domaine des nanosciences, Joachim

Schummer utilise la discipline « Science et génie des matériaux » comme l'une des huit disciplines universitaires présentes dans les adresses institutionnelles des auteurs de son domaine d'intérêt. Il précise même, son étude bibliométrique n'étant pas limitée à certains pays, que « la structure des départements universitaires apparaît plutôt stable et géographiquement universelle » (Schummer, 2004, 439). Il semble ainsi exister une sorte d'exception française, en termes d'absence de département « Matériaux » dans les universités. Pourtant, on pourrait imaginer que le découpage des sciences en disciplines académiques est largement uniformisé, au niveau international, par les échanges permanents entre chercheurs de divers pays. Cela dit, l'existence de nombreux congrès internationaux (et français) et de revues scientifiques internationales (et parfois d'origine française) spécialisées, consacrés au domaine de la science des matériaux, permet probablement à la science des matériaux d'avoir une existence en France comme discipline scientifique, en dépit de sa non-existence institutionnelle. Malgré tout, et en dépit de sa courte durée de vie, le PIRMAT a indéniablement contribué à l'émergence d'une communauté scientifique interdisciplinaire dans le domaine de la science des matériaux, mais d'une communauté fortement dépendante des disciplines que sont la physique, la chimie et les sciences pour l'ingénieur, et des collaborations industrielles. Ce succès en termes de promotion de pratiques de recherches interdisciplinaires ne doit cependant pas masquer le fait que le programme n'est pas parvenu à pérenniser la science des matériaux en tant que champ de recherche académique indépendant. De fait, à l'exception notable de son premier directeur Jean Hanus, aucun acteur institutionnel de l'époque, ni au CNRS ni au Ministère de la recherche, ne semble avoir voulu transformer le PIRMAT en un département Matériaux du CNRS à part entière. Il faut également souligner le fait qu'en science des matériaux, au CNRS, les pratiques de recherches interdisciplinaires ont été intimement liées aux interactions avec le secteur économique, et se sont développées principalement, et explicitement, en fonction d'enjeux et d'objectifs déterminés par les applications industrielles.

Le cas du PIRMAT invite finalement à une réflexion générale sur la possibilité même de la pérennisation de champs de recherche interdisciplinaires. En effet, comme je l'ai déjà indiqué, l'interdisciplinarité « au sens fort » conduit souvent, assez paradoxalement, à la création d'une nouvelle discipline, que rien n'empêche, *a priori*, de dresser des cloisons autour d'elle-même. Il s'agit de l'idée exprimée ici par Schummer : « L'interdisciplinarité peut, via la formation d'une nouvelle discipline, conduire à des structures disciplinaires relativement cloisonnées » (Schummer, 2004, 463). Si l'interdisciplinarité contribue parfois davantage à déplacer les cloisons qu'à les abattre, est-il possible de stabiliser des champs de recherche réellement interdisciplinaires sans les transformer en territoires de chasse bien gardés ?

L'intérêt récurrent de mes recherches, depuis cette période initiale d'étude du PIRMAT, pour l'histoire de la notion d'interdisciplinarité, m'a conduit à participer activement, de 2015 à 2018, au programme de recherche « Politiques et pratiques de l'interdisciplinarité », dirigé par mes collègues historiens des sciences Wolf Feuerhahn et Rafael Mandressi, et consistant à étudier, au cours de deux ateliers par an, avec une approche historique et non normative, les politiques et les pratiques interdisciplinaires, en suivant au plus près les discours des acteurs concernés. Ce programme donnera lieu à un ouvrage collectif, qui paraîtra aux éditions de la Sorbonne en 2024. Dans ce cadre, j'ai revisité mes travaux des années 2009 et 2010 sur la recherche en science des matériaux, en me focalisant cette fois-ci sur les discours et les pratiques institutionnels de l'interdisciplinarité au CNRS, des années 1970 aux années 1990, au-delà du cas spécifique de la science des matériaux. J'ai ainsi mobilisé la « littérature grise » de l'institution, et notamment ses rapports annuels d'activité, pour mettre en évidence, de façon générale, au CNRS, les écarts entre les discours volontaristes de promotion de l'interdisciplinarité et les obstacles pratiques à sa mise en œuvre. Principalement liés à la structure institutionnelle du CNRS, les obstacles en question contribuèrent d'ailleurs, en 1997, à la disparition des Programmes interdisciplinaires de recherche (PIR) de son organigramme. J'ai cherché précisément à établir dans quelle mesure la promotion discursive de l'interdisciplinarité, omniprésente au CNRS dans les années 1980 et 1990, avait été traduite dans le mode de fonctionnement de l'organisme. La place prépondérante de l'interdisciplinarité dans les discours officiels du CNRS est particulièrement sensible à la lecture des rapports d'activité du CNRS de cette période, sur lesquels a porté mon enquête.⁵⁴

Pour la première fois depuis la création des PIR en 1975, dans le rapport d'activité du CNRS pour les années 1979-1980, qui compte quatre-vingts pages, le sommaire fait apparaître un chapitre entier, de six pages, consacré aux trois PIR de l'époque et intitulé « programmes interdisciplinaires », à la suite du chapitre de vingt-huit pages dédié aux huit « secteurs scientifiques » de l'époque (CNRS, 1979-1980, 3). On peut toutefois remarquer que le budget cumulé de ces trois PIR ne représente que 0,98 % du budget hors personnel du CNRS pour cette année 1980 (CNRS, 1979-1980, 9). Dans le rapport d'activité de 1981-1982, sur soixante-dix pages, dix pages sont consacrées aux six PIR existants, dont le PIRMAT, qui vient d'être créé. Le budget de ces six PIR représente, en 1982, 2,8 % du budget hors personnel du CNRS (CNRS, 1981-1982, 11). Mais, alors même que le CNRS favorise une montée en puissance budgétaire des PIR, le thème de l'interdisciplinarité n'est pas problématisé en tant que tel dans les rapports

⁵⁴ Les références aux rapports d'activité du CNRS seront indiquées entre parenthèses avec la mention CNRS, suivie de l'année du rapport concerné et de la (ou des) page(s) évoquée(s).

d'activité et semble peu valorisé, du moins jusqu'en 1983. Pour la première fois, dans l'introduction au rapport d'activité de 1984, un paragraphe est consacré à la pluridisciplinarité, et le Directeur général (DG) Pierre Papon (physicien né en 1939) affirme que l'un des objectifs du CNRS est de « soutenir la pluridisciplinarité. » Les termes « pluridisciplinarité » et « interdisciplinarité » sont d'ailleurs utilisés comme des synonymes, ce qui est le signe qu'une véritable réflexion sur ce thème n'a pas encore été élaborée dans l'institution. Les programmes interdisciplinaires de recherche sont décrits comme l'un des modes d'action du CNRS en matière d'interdisciplinarité. À propos des PIR, Papon ajoute, dans ce rapport d'activité : « ils ont une autonomie par rapport aux départements, étant rattachés directement au directeur général. Ils mobilisent les laboratoires des départements en accord avec eux sur des thèmes d'intérêt commun » (CNRS, 1984, 2). L'expression « en accord avec eux » invite d'ailleurs à se poser des questions sur le réel degré d'autonomie des PIR vis-à-vis des départements scientifiques. Par ailleurs, on voit bien, dans ce passage, que l'interdisciplinarité mise en œuvre par les PIR et l'autonomie correspondante de ces structures s'exercent par rapport aux départements scientifiques. Cela permet de comprendre pourquoi le CNRS ne s'intéresse guère aux échanges interdisciplinaires entre disciplines des sciences humaines et sociales, qui relèvent toutes d'un unique département scientifique. En quelque sorte, l'adjectif « interdisciplinaire » s'entend avant tout, au CNRS, comme « interdépartemental », c'est-à-dire entre départements scientifiques, davantage qu'entre disciplines à strictement parler.

Dans le rapport d'activité de 1985, qui comprend quatre-vingts pages, le nombre de pages consacré aux sept PIR est strictement égal à celui des pages dédiées aux sept départements scientifiques : vingt-et-une pages (CNRS, 1985). Bien que symbolique, cette égalité est révélatrice de l'importance qu'ont les PIR en 1985 au CNRS. En revanche, l'année 1986 marque un net recul de l'importance accordée aux PIR, avec l'arrivée, à la direction générale du CNRS, du physicien Serge Feneuille (né en 1940), à la suite du changement de gouvernement. Ce dernier n'est pas favorable à l'autonomie des PIR, et chaque programme interdisciplinaire se trouve rattaché à un unique département scientifique. De plus, trois des sept PIR ne sont pas renouvelés pour l'année suivante. Le rapport d'activité, rebaptisé « rapport annuel du CNRS », ne comprend plus qu'une quarantaine de pages. Quinze pages du rapport annuel de 1986 sont consacrées aux activités des départements scientifiques, alors qu'une seule demi-page est réservée à l'ensemble des quatre PIR encore en activité. En outre, les PIR apparaissent désormais comme des appendices, ou des satellites, des départements scientifiques, puisqu'il est question de « responsabiliser davantage les départements à la conduite d'actions interdisciplinaires » (CNRS 1986, 23). Dans le rapport annuel de 1987,

l'intitulé de la page consacrée aux PIR ne contient même plus le mot « interdisciplinaire » et devient seulement : « Des programmes. » Les PIR y sont mentionnées comme « programmes interdisciplinaires finalisés » et leur seul rôle assigné consiste à « soutenir des recherches susceptibles d'aboutir à la réalisation de procédés industriels » (CNRS, 1987, 16).

La parenthèse de deux années de mise en sommeil du thème de l'interdisciplinarité se referme avec l'arrivée du biologiste François Kourilsky (1934-2014) à la direction générale du CNRS en 1988. Dans le rapport annuel de cette année, qui comporte quarante-huit pages, le chapitre de deux pages consacré aux quatre PIR est intitulé « croiser les disciplines pour enrichir l'approche » (CNRS, 1988, 16-17). Dans ce chapitre, on peut lire : « se saisir d'un problème, le résoudre, en le soumettant aux regards croisés du sociologue et de l'informaticien, du chimiste et du physicien, du biologiste et du juriste..., tel est le but des programmes interdisciplinaires de recherche (PIR) du CNRS. » Autre symbole du retour au premier plan de l'interdisciplinarité en 1988 dans la communication du CNRS, les quatre directeurs de PIR, ont droit, pour la première fois, à leur photo dans le rapport annuel, au même titre que les directeurs fonctionnels et administratifs de l'organisme (CNRS, 1988, 48). Dans le rapport annuel de 1989, qui comporte cinquante pages, le chapitre de cinq pages dédié aux quatre PIR s'intitule : « CNRS : la stratégie du décroisement. » Les premières lignes de ces cinq pages sont un hymne à l'interdisciplinarité, définie comme interaction entre chercheurs de diverses disciplines : « Riche de sa diversité et d'une extrême concentration de talents, le CNRS s'efforce de décroiser la recherche. Il encourage systématiquement les relations entre ses chercheurs d'horizons différents ou même entre Départements, organisant les échanges, sources d'idées créatives » (CNRS, 1989, 30-34).

En 1990, Kourilsky passe des discours à la pratique, et crée trois nouveaux programmes interdisciplinaires de recherche. Le chapitre du rapport annuel de 1990 relatif aux PIR s'intitule alors : « l'interdisciplinarité en pratique » (CNRS, 1990). Comme en 1985, les PIR sont donc désormais au nombre de sept, exactement comme les départements scientifiques. Cette égalité est mise à profit en termes de communication dès le rapport annuel suivant du CNRS. Ainsi, dans le rapport de 1991, le chapitre « Une politique scientifique affichée » met en parallèle les « 7 Départements Scientifiques » et les « 7 Programmes Interdisciplinaires de Recherche », et consacre une page à chacun d'entre eux (CNRS, 1991, 31-46). Dans le même rapport, un chapitre de deux pages, intitulé « les fruits de l'interdisciplinarité », est consacré à la promotion de l'interdisciplinarité au CNRS. Kourilsky y fait même la distinction entre pluridisciplinarité et interdisciplinarité : « Pluridisciplinaire, le CNRS l'est par nature. L'année 1991 a vu la mise

en place de structures qui permettent de traduire, encore davantage, cette pluridisciplinarité en interdisciplinarité et d'en faire un atout majeur du progrès scientifique » (CNRS, 1991, 12-13). Bien que Kourilsky n'explicite pas la différence qu'il fait entre ces deux notions, on retrouve ici la distinction implicite que font la plupart des acteurs du CNRS de cette époque entre recherches pluridisciplinaires et interdisciplinaires. Conformément au sens le plus littéral de ces deux termes, et à la typologie déjà évoquée de Schummer, ils parlent de recherches « pluridisciplinaires » lorsque *plusieurs* disciplines sont convoquées pour mener des recherches, mais sans véritable interaction entre les spécialistes desdites disciplines, et réservent l'adjectif « interdisciplinaires » aux recherches dans la conduite desquelles sont mises en œuvre de réelles *interactions* entre les chercheurs des différentes disciplines. Cette distinction permet de comprendre la citation précédente : le CNRS est pluridisciplinaire, dans la mesure où plusieurs disciplines sont développées en son sein, mais il ne peut, selon Kourilsky, prétendre à la qualification d'interdisciplinaire que si les chercheurs de disciplines différentes travaillent réellement ensemble.

Dans le rapport de 1992, un chapitre de quatre pages consacré à l'interdisciplinarité s'intitule : « L'interdisciplinarité : un atout pour résoudre des problèmes complexes » (CNRS, 1992, 6-9). La première phrase de ce chapitre exprime bien le désir affiché de promouvoir les interactions entre disciplines : « C'est bien souvent aux interfaces entre disciplines qu'émergent les percées conceptuelles et méthodologiques. » La nature des PIR est ensuite décrite de façon tout à fait explicite : « Ils regroupent autour d'un thème des scientifiques ou des laboratoires rattachés à différents départements et issus de disciplines diverses. » Le paragraphe concernant le PIRMAT s'intitule « les matériaux au carrefour des disciplines » et il y est précisé que ce domaine de recherche se situe « au confluent de la chimie, de la physique, de la biologie et du génie mécanique. » En 1993, le chapitre de six pages du rapport annuel du CNRS consacré aux sept PIR s'intitule à nouveau, comme en 1990, « l'interdisciplinarité en pratique », et insiste sur les relations entre l'interdisciplinarité et les besoins de la société : « tous les grands problèmes de société appellent en effet un éclairage multiple » (CNRS, 1993, 37-42).

Nommé en 1994 à la direction générale du CNRS, le physicien Guy Aubert (né en 1938) conserve, dans le rapport annuel de trente pages de 1994, le même intitulé, « *l'interdisciplinarité en pratique* », pour le chapitre de huit pages dédié à l'interdisciplinarité. On peut y lire une phrase que n'aurait probablement pas reniée Kourilsky : « la stratégie du CNRS favorise les interactions entre disciplines face aux problèmes actuels de société » (CNRS, 1994, 20-27). La rhétorique du CNRS reste bien la même, en dépit de la disparition du

PIRMAT au profit d'une Délégation interdépartementale matériaux (DIMAT), beaucoup plus légère et beaucoup moins autonome. L'utilisation de l'adjectif « interdépartementale » conforte d'ailleurs bien notre assertion selon laquelle l'interdisciplinarité est conçue, au CNRS, comme la collaboration entre départements scientifiques. Les interactions entre chercheurs de différentes disciplines des sciences humaines et sociales n'y sont donc pas considérées comme des recherches interdisciplinaires, puisque les disciplines en question relèvent toutes d'un même département scientifique. Pour revenir à cette Délégation interdépartementale matériaux, le rapport annuel de 1995 (qui comporte trente pages) la comptabilise toujours parmi les sept programmes interdisciplinaires de recherche, auxquels il consacre un chapitre de neuf pages. Et, bien que beaucoup des programmes en question n'aient plus le statut de PIR, le chapitre s'intitule encore « renforcer notre interdisciplinarité. » La première phrase de ce chapitre est dans la droite lignée des écrits des années précédentes : « pour répondre aux enjeux économiques et sociaux majeurs plus efficacement, le CNRS développe des partenariats interactifs entre les disciplines scientifiques » (CNRS, 1995, 23-31). Dans le rapport annuel de 1996, la dénomination « PIR » est définitivement abandonnée, et est remplacée par le titre de chapitre « programmes et actions interdisciplinaires. » Le chapitre de dix pages correspondant commence par une introduction qui traduit bien le fait que le CNRS est en train de modifier son discours et sa mise en œuvre de l'interdisciplinarité : « Tout au long de l'année 1996, le CNRS a poursuivi ses programmes interdisciplinaires en cours, tout en engageant une réflexion approfondie sur sa programmation future » (CNRS, 1996, 22-31). Autre signe révélateur du changement en cours, pour la première fois depuis le rapport de 1977-1978, les budgets des différents programmes interdisciplinaires n'apparaissent plus dans le chapitre consacré aux éléments financiers de l'année (CNRS, 1996, 32-35).

Dans la foulée, l'année 1997, nous l'avons vu, est celle de la fin des PIR, créés en 1975, et ceux-ci disparaissent donc définitivement de l'organigramme officiel du CNRS (CNRS, 1997, 38). La physicienne Catherine Bréchnac (née en 1946) remplace Guy Aubert à la direction générale du CNRS. Ce rapport de 1997 présente, en une page, la nouvelle politique du CNRS à l'égard des programmes interdisciplinaires : « Le CNRS a décidé de recentrer ses programmes de recherche interdisciplinaires autour de cinq grands axes. Objectifs : éviter les rigidités, favoriser des relations horizontales souples » (CNRS, 1997, 30). Les cinq grands axes alors retenus sont extrêmement généraux : « le vivant et ses enjeux ; l'environnement ; la dynamique de la société ; les télécommunications et la cognition ; les matériaux et technologies ». Une phrase de cette page du rapport permet de comprendre que cette nouvelle organisation correspond à un retour au premier plan des directeurs de départements

scientifiques, qui ont finalement récupéré toutes leurs prérogatives : « Les progressions sur les cinq grands axes évoqués ci-dessus seront supervisées par les directeurs scientifiques, qui auront pour mission d'en vérifier la cohésion scientifique et d'établir des liens avec l'extérieur. » En outre, dans les rapports d'activités de 1998 (CNRS, 1998, 31) et de 1999 (CNRS, 1999, 33), la page consacrée aux nouveaux programmes thématiques s'intitule désormais : « les programmes pluridisciplinaires. » Ce glissement sémantique d'interdisciplinaire à pluridisciplinaire est révélateur d'un changement dans la communication du CNRS en matière de recherches impliquant plusieurs disciplines.⁵⁵

L'année 1997 vient donc clore une période entamée en 1975 avec la création des PIR, et pendant laquelle le CNRS a développé ces structures destinées à accueillir les recherches interdisciplinaires et a massivement communiqué sur la promotion de l'interdisciplinarité en son sein. Pourtant, malgré cette intense promotion dans les discours officiels, selon Papon, DG du CNRS de 1982 à 1986, l'interdisciplinarité est toujours restée marginale au CNRS : « Les disciplines vivent dans des espaces cloisonnés, y compris au CNRS. Même si on a tous proclamé *urbi et orbi* que l'avantage du CNRS, c'est de pouvoir faire travailler des gens de disciplines voisines ensemble, ça s'est toujours fait dans la difficulté, et jamais sur une échelle considérable. »⁵⁶ François Kourilsky, DG de 1988 à 1994, émet un jugement tout à fait similaire, et souligne plus particulièrement l'ambiguïté entre pluridisciplinarité et interdisciplinarité au CNRS : « Le problème est que le CNRS était un gros ensemble certes pluridisciplinaire, mais pas du tout interdisciplinaire... La confusion entre pluridisciplinarité et interdisciplinarité était vraiment absolue. »⁵⁷

Il apparaît en fait que la structure institutionnelle du CNRS a constitué un obstacle pour l'autonomie et la visibilité des PIR. Deux aspects de la structure de l'organisme sont à considérer plus particulièrement. Le premier est le rôle exclusif du Comité national de la recherche scientifique (CoNRS) en ce qui concerne le recrutement et la promotion des chercheurs du CNRS. Le CoNRS fonctionne en sections thématiques. Chaque section représente une sous-discipline et est rattachée à un département scientifique.⁵⁸ En revanche,

⁵⁵ Dans un dossier de 2013, intitulé « Interdisciplinarité : entre disciplines et indiscipline », la revue *Hermès* s'intéresse à une période plus récente, en commentant les réponses à un questionnaire à propos de l'interdisciplinarité, envoyé à chacun des dix instituts qui structurent désormais le CNRS, et qui ont remplacé les départements scientifiques en 2009 (Collectif, 2013).

⁵⁶ Pierre Papon, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 15 avril 2009.

⁵⁷ François Kourilsky, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 4 mars 2010.

⁵⁸ Signalons tout de même qu'aujourd'hui, contrairement à la situation décrite pour la période de mon enquête, il existe, au CoNRS, six commissions interdisciplinaires en plus des quarante-et-une sections disciplinaires.

aucune section ni aucun chercheur du CNRS n'est rattaché à un l'un des PIR, qui n'ont donc aucune influence sur le recrutement ou la carrière des chercheurs.

Le second obstacle institutionnel au développement de l'interdisciplinarité au CNRS est sa structure verticale en départements scientifiques, déjà largement évoquée. François Kourilsky, DG de 1988 à 1994, est tout à fait explicite quant au rôle de ces départements : « Il y avait sept départements scientifiques, mais on les appelait parfois "baronnies". C'étaient des cercles de pouvoir... Le problème, c'est que les départements scientifiques du CNRS fonctionnent en tant que départements, avec leur directeur, leurs sections du Comité national, leur rapport de conjoncture. Mais l'interdisciplinarité était totalement marginale. »⁵⁹ Les témoignages de nombreux acteurs de l'époque et l'étude des archives attestent d'ailleurs le rôle majeur des directeurs de département scientifique, notamment par l'intermédiaire de la diminution de leur participation à son budget, dans la disparition du PIRMAT, qui survient en 1994.

En ce qui concerne, plus généralement, la place de l'interdisciplinarité au CNRS, pendant la période d'existence des Programmes interdisciplinaires de recherche, de 1975 à 1997, les discours officiels de l'organisme se sont efforcés de faire de l'interdisciplinarité une valeur fondamentale de l'institution, promue avec constance et intensité. Nous l'avons vu, la structure institutionnelle et l'organisation du CNRS semblent au contraire constituer des obstacles à la mise en œuvre concrète de cette interdisciplinarité. En effet, l'interdisciplinarité s'avère être un sujet de tensions récurrent au sein de la direction de l'organisme. Sa mise en œuvre est étroitement liée aux rapports de force entre le directeur général du CNRS, dont la personnalité⁶⁰ semble essentielle pour promouvoir l'interdisciplinarité, et les directeurs des départements scientifiques, qui refusent presque systématiquement de consacrer une partie de leur budget à ces recherches interdisciplinaires.

⁵⁹ François Kourilsky, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 4 mars 2010.

⁶⁰ Il apparaît que, dans la période étudiée, le physicien Robert Chabbal (1927-2020) – DG du CNRS de 1976 à 1979 –, Pierre Papon (DG de 1982 à 1986) et François Kourilsky (DG de 1988 à 1994) sont les trois seuls DG du CNRS à avoir véritablement engagé le combat avec les directeurs des départements scientifiques sur ces aspects de politique scientifique interdisciplinaire de l'organisme. Le fait que Papon et Kourilsky soient orientés politiquement à gauche, et que Serge Feneuille, le seul DG explicitement hostile aux PIR dans la période, soit un homme de droite, pourrait laisser supposer l'existence d'une corrélation entre orientation politique de gauche et promotion de l'interdisciplinarité. La question est certainement beaucoup plus complexe, comme en témoigne le fait que l'impulsion initiale en faveur de l'interdisciplinarité au CNRS a été donnée par Chabbal, entre 1976 et 1979, sous un gouvernement de droite libérale.

Notons aussi que la focalisation sur le CNRS de mon enquête pourrait laisser supposer que le cloisonnement disciplinaire, que j'ai décrit comme une des caractéristiques de la structure du CNRS, est l'apanage de cet organisme. Une telle déduction serait pour le moins hasardeuse. En effet, l'Université française, avec ses Unités de formation et de recherche (UFR), et ses sections du Conseil national des universités (CNU), présente une configuration analogue à celle du CNRS, en termes de centralité accordée aux disciplines.⁶¹

Enfin, si mon travail a porté exclusivement sur une institution française, il est peu probable que cette tendance des disciplines à ériger des frontières autour d'elles soit une particularité nationale. François Kourilsky rappelle ainsi : « Ce cloisonnement disciplinaire existe un peu partout... Les disciplines sont d'ailleurs tout aussi cloisonnées que chez nous aux États-Unis. »⁶² Néanmoins, dans le cas particulier de la science des matériaux, force est de constater qu'elle s'est bel et bien constituée en discipline académique autonome dans de nombreux pays, et notamment aux États-Unis.⁶³ Conformément à cette observation, mon étude de la science des matériaux a conduit à soulever une question plus générale, déjà évoquée, à propos de la possibilité même d'une pérennisation institutionnelle de l'interdisciplinarité. Un domaine de recherche interdisciplinaire peut-il réellement être institutionnalisé, ou bien débouche-t-il nécessairement sur l'alternative suivante : soit son absorption par une ou plusieurs disciplines établies antérieurement, soit sa transformation en une nouvelle discipline autonome, supprimant ainsi la pertinence même de l'emploi de la catégorie d'interdisciplinarité à son égard ?

⁶¹ Pour autant, le choix précis du découpage en UFR dans les universités est très différent de celui du CNRS en départements, notamment en sciences humaines et sociales, où les disciplines ont souvent une plus grande autonomie dans la structure de l'Université que dans celle du CNRS (UFR de philosophie, UFR d'histoire, etc.).

⁶² François Kourilsky, entretien avec Emanuel Bertrand, Paris, 4 mars 2010.

⁶³ Pour une comparaison entre la recherche sur les matériaux en France et aux États-Unis, on pourra se reporter à (Bertrand, Bensaude-Vincent, 2011).

2. L'interdisciplinarité entre sciences de la nature et sciences humaines et sociales. Y réfléchir sans réellement la pratiquer

En cohérence avec mon propre parcours de chercheur en sciences physiques reconverti en chercheur en histoire, philosophie et sociologie des sciences, j'ai assez logiquement éprouvé le besoin de réfléchir sur les pratiques et les discours de l'interdisciplinarité entre sciences de la nature et sciences humaines et sociales. En un certain sens, je peux néanmoins affirmer que je ne pratique pas réellement ce type d'interdisciplinarité, dans la mesure où, depuis que je suis chercheur en histoire, philosophie et sociologie des sciences, je me focalise très souvent sur des objets d'études en lien étroit avec les sciences de la nature (principalement les sciences physiques et occasionnellement les sciences de la vie), mais où je ne mobilise jamais des méthodes ou des approches de sciences de la nature pour conduire mes recherches.

Comme évoqué au paragraphe IV.1, je me suis penché sur un cas précis d'interdisciplinarité entre les sciences physiques et les sciences humaines et sociales en général, et la philosophie en particulier, en analysant la genèse, la construction, le contenu et la réception de l'ouvrage du physicien et chimiste Ilya Prigogine (1917-2003) et de la philosophe Isabelle Stengers (née en 1949) publié en 1979, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science* (Prigogine, Stengers, 1979).⁶⁴ Il est difficile d'imaginer qu'un livre en français consacré principalement à l'histoire et à la philosophie de la thermodynamique – une branche importante de la physique datant du XIX^e siècle mais peu connue du grand public – ait pu attirer un très grand nombre de lecteurs, même dans les années 1970, à une époque supposée plus favorable que la nôtre pour l'édition en sciences humaines et sociales. Malgré tout, « ce fut un extraordinaire best-seller, traduit dans de très nombreuses langues. Le livre n'est pourtant pas facile à lire. »⁶⁵ Voici comment le physicien Radu Balescu présente, en 2006, de façon particulièrement synthétique, l'ouvrage de Prigogine et Stengers.

En décembre 1979 paraît, dans la collection « Bibliothèque des sciences humaines », dirigée par l'historien Pierre Nora, aux éditions Gallimard, ce livre à l'intersection entre histoire et philosophie des sciences, vulgarisation exigeante de la thermodynamique et essai

⁶⁴ L'intégralité de ce paragraphe reprend des passages de mon ouvrage publié en 2023 aux éditions Classiques Garnier : *Extension du domaine de la thermodynamique. Anatomie d'une controverse* (Bertrand, 2023a), et de mon premier article relatif à *La Nouvelle Alliance* (Bertrand, 2017).

⁶⁵ Cette citation (Balescu, 2006, 39) est issue d'un petit opuscule biographique et bibliographique dédié, trois années après sa mort, à Ilya Prigogine et à son œuvre. Écrit par le physicien belge Radu Balescu (1932-2006), cet opuscule est publié en 2006 par l'Académie royale de Belgique, et peut être téléchargé à l'adresse suivante (consultée pour la dernière fois le 29 septembre 2022) :

www.academieroyale.be/Academie/documents/Balescu_Prigogine13653.pdf

philosophique sur la place de l'homme dans la nature. Le titre de l'ouvrage en question n'hésite pas à puiser dans la symbolique biblique : la Nouvelle Alliance est également le nom donné au Nouveau Testament, dans la religion chrétienne. Conformément à cette auguste parenté, le livre de Prigogine et Stengers propose une grande fresque d'histoire de la physique – sans doute la première (et la seule disposant d'un si large lectorat) centrée sur la thermodynamique –, et affiche une ambition explicitement refondatrice, voire révolutionnaire. Les auteurs entendent faire jeu égal avec un illustre prédécesseur, Newton, en se référant à son image classique de fondateur d'une authentique révolution scientifique et de promoteur d'un renouvellement radical de la vision du monde des modernes. L'alliance mentionnée dans son titre n'est donc pas qu'une alliance entre les sciences de la nature et les sciences humaines : elle renvoie, à un niveau encore plus fondamental, à une alliance entre la nature et les hommes. Cet ouvrage devient vite un véritable succès d'édition en sciences humaines et sociales, avec plus de 70 000 ventes à ce jour,⁶⁶ et est traduit dans 18 langues (Balescu, 2006, 58). Bien que l'on ne puisse évidemment pas réduire l'influence d'un ouvrage à son nombre de citations, il est important de mentionner que le site Google Scholar recense (au 9 septembre 2022) 2 510 citations de l'ouvrage *La Nouvelle Alliance* en français, 834 citations de sa traduction allemande de 1981 (Prigogine, Stengers, 1981), et, de façon encore plus remarquable, 13 200 citations de sa traduction en anglais de 1984 (Prigogine, Stengers, 1984), selon la même source.

Par ailleurs, fait particulièrement original, et qui a une influence considérable à la fois sur le style et sur le contenu de l'ouvrage, les deux auteurs relèvent de deux disciplines *a priori* fort éloignées. Ilya Prigogine, né à Moscou en 1917 et mort à Bruxelles en 2003, prix Nobel de chimie en 1977, est un physicien et chimiste théoricien belge internationalement reconnu, grand nom du domaine de la thermodynamique de non-équilibre. Isabelle Stengers, née quant à elle à Bruxelles en 1949, est doctorante en philosophie des sciences, précisément sous la direction de Prigogine, au moment de la publication de l'ouvrage. D'ailleurs, sans chercher systématiquement à distinguer dans l'ouvrage les apports respectifs de chacun des deux auteurs – entreprise à la fois partiellement vaine et potentiellement anachronique, car reposant sur la connaissance de leurs travaux respectifs ultérieurs –, j'ai mis en évidence des nuances entre Prigogine et Stengers à propos d'un problème philosophique fondamental : le statut de la réalité à laquelle se réfèrent les descriptions scientifiques.

⁶⁶ Les chiffres de ventes de *La Nouvelle Alliance*, qui agrègent les ventes de l'édition originale et de la seconde édition, en format de poche (Prigogine, Stengers, 1986), ont été obtenus auprès de Christelle Fourlon-Kouayep, assistante éditoriale aux éditions Gallimard, le 28 mars 2022.

Comment un livre aussi difficile d'accès pour les non spécialistes de la thermodynamique a-t-il pu devenir un tel succès commercial ? Pour percer ce mystère, et comprendre ce qui a pu, dans *La Nouvelle Alliance*, attirer, intriguer, intéresser, subjugué, faire débattre, indigner, ou parfois même ulcérer, un aussi grand nombre de lecteurs de tous horizons, j'ai choisi d'étudier la genèse, le contenu scientifique et philosophique, et la réception de cet ouvrage. La source primaire de mon enquête a donc été le livre en lui-même, sa fabrication concrète, son insertion dans l'histoire de l'histoire des sciences, la personnalité de ses deux auteurs, mais surtout son contenu explicite détaillé. Je me suis également appuyé sur les archives de Pierre Nora au sein des éditions Gallimard et sur celles d'Ilya Prigogine, à l'Université libre de Bruxelles, où l'essentiel de ses documents de travail ont été conservés.⁶⁷ J'ai également eu l'opportunité de m'entretenir avec l'une des deux auteurs de l'ouvrage, la philosophe Isabelle Stengers, et avec un certain nombre de physiciens ayant travaillé avec l'autre auteur, Ilya Prigogine, et dont certains furent parmi ses plus proches collaborateurs.

Trois dimensions principales, perpétuellement tressées ensemble dans le récit, permettent de définir la nature de l'ouvrage de Prigogine et Stengers. *La Nouvelle Alliance* est d'abord un livre d'histoire et de philosophie des sciences, qui propose un grand récit d'histoire de la physique et s'aventure parfois du côté d'un type de vulgarisation (même si les auteurs récusent explicitement le terme) inhabituel, car caractérisé par un haut niveau d'exigence technique. De ce point de vue, l'ouvrage est aussi le témoin d'une époque, en ce qui concerne les usages et les pratiques académiques en histoire et en philosophie des sciences. Mais il s'agit aussi, et peut-être avant tout, d'un essai scientifique et philosophique qui déploie un certain nombre de thèses. De fait, Prigogine et Stengers y défendent plusieurs idées fortes, qui ont d'ailleurs toutes à la fois des dimensions scientifiques et philosophiques, et sont tantôt analytiques tantôt normatives. Il est possible de répartir ces thèses en deux ensembles : les thèses à dominante philosophique, qui tournent toutes autour de la notion éponyme d'alliance, ou plutôt d'alliances – au pluriel –, et les thèses majoritairement scientifiques, qui sont au nombre de deux, et s'articulent respectivement autour des notions d'irréversibilité et d'indéterminisme. Enfin, dernière des trois dimensions évoquées, le livre de Prigogine et Stengers peut être lu de part en part comme une réponse critique à l'ouvrage de 1970 du biologiste Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité* (Monod, 1970).

⁶⁷ Christine Dusart, du service « Archives, patrimoine et collections spéciales » de l'Université libre de Bruxelles, nous a permis de consulter les archives d'Ilya Prigogine en juillet 2018.

Toutes les thèses philosophiques et scientifiques de *La Nouvelle Alliance* sont inscrites dans un schéma narratif global, que j'ai qualifié de « grande fresque d'histoire de la physique ». Aucun récit d'histoire des sciences, ni d'ailleurs aucun récit en général, ne peut prétendre à la neutralité parfaite, et celui de Prigogine et Stengers pas plus que les autres. Stengers le reconnaîtra d'ailleurs dans un livre ultérieur, écrit par elle seule et publié en 1997, le volume III de sa série *Cosmopolitiques*, en affirmant : « Il n'y a pas de récit neutre » (Stengers, 2003a, III, p. 184). *La Nouvelle Alliance* peut donc être considéré comme un grand récit téléologique d'histoire de la physique dont l'objectif est d'aboutir aux travaux thermodynamiques de Prigogine et de son équipe, et au face à face final de cette thermodynamique de non-équilibre avec la dynamique newtonienne.⁶⁸ Cette mise en scène débouche alors ultimement sur l'émergence d'une alliance entre la thermodynamique de non-équilibre et la dynamique newtonienne, voire d'une nouvelle synthèse de la physique. Un certain nombre de partis pris historiographiques, que j'ai mis en évidence, sont incontestablement au service de cet objectif et de l'ensemble des autres thèses défendues par nos deux auteurs.

Par ailleurs, le dialogue entre *La Nouvelle Alliance* et *Le hasard et la nécessité* est fondamental pour comprendre le livre de Prigogine et Stengers – autant sa genèse que son contenu.⁶⁹ En effet, cette dimension de réponse critique à Monod ne se limite absolument pas à l'élaboration et la promotion de « nouvelles alliances ». Certes, cet élément répond à l'une des dernières phrases du livre de Monod, citée à plusieurs reprises dans l'ouvrage de Prigogine et Stengers, à savoir : « L'ancienne alliance est rompue ; l'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard » (Monod, 1970, 194-195). Mais, bien plus profondément, à neuf ans de distance, *La Nouvelle Alliance* revient, en les réfutant, souvent explicitement, parfois implicitement, sur quasiment toutes les thèses avancées par Monod dans son propre livre. D'ailleurs, Monod est l'un des auteurs non-physiciens les plus cités dans le livre de Prigogine et Stengers. Monod occupe donc bien une place centrale et singulière dans *La Nouvelle Alliance*, dans la mesure où il est le seul auteur abondamment cité qui ne soit ni physicien ni philosophe.

⁶⁸ Pour un bref compte rendu analytique des recherches de Prigogine et de ses différents collaborateurs, on pourra se reporter au petit opuscule de Radu Balescu (Balescu, 2006) ou à l'article de René Lefever (Lefever, 2018). Sur les croisements et influences réciproques entre mathématiques, hydrodynamique et thermodynamique dans ces recherches, le lecteur trouvera des précisions utiles dans la thèse de doctorat de David Aubin (Aubin, 1998, 595-606, consultée en ligne le 10 mars 2023 : <https://webusers.imj-prg.fr/~david.aubin/publis.html#1998>).

⁶⁹ J'ai développé cette interprétation de *La Nouvelle Alliance* comme réponse au livre de Monod dans un article publié en 2023 dans la revue *History and Philosophy of the Life Sciences* (Bertrand, 2023b).

En 1965, les trois biologistes français André Lwoff (1902-1994), Jacques Monod (1910-1976) et François Jacob (1920-2013) sont les lauréats du prix Nobel de physiologie ou médecine « pour la découverte de la régulation génétique de la synthèse des enzymes et des virus. » Je me contenterai ici d'évoquer le parcours de Monod. Après une thèse de doctorat réalisée à la faculté des sciences de l'université de Paris (Sorbonne) et soutenue en 1941, Monod rejoint la Résistance. Après la Libération, il intègre, en 1945, l'Institut Pasteur. Il est ensuite nommé, en 1967, professeur au Collège de France (chaire de biologie moléculaire), et exerce enfin la fonction de directeur général de l'Institut Pasteur, de 1971 à sa mort, en 1976. Le livre de Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, publié aux éditions du Seuil en 1970 (Monod, 1970), s'est vendu à environ 250 000 exemplaires en grand format (hors collection), et à environ 210 000 exemplaires en format de poche, dans la collection « Points ». Il s'agit donc bien d'un immense succès commercial, avec plus de 460 000 ventes nettes à ce jour.⁷⁰ L'ouvrage est traduit en anglais dès 1971 sous le titre *Chance and Necessity* (Monod, 1971). En outre, le site Google Scholar recense (au 9 septembre 2022) 2 665 citations de la version française et 3 550 citations de ses éditions en anglais.

Étant donnés les chiffres de vente exceptionnels du livre du prix Nobel de physiologie ou médecine, on peut supposer que, pour Prigogine, tout récent prix Nobel de chimie, en 1977, il était important de se situer par rapport à cet ouvrage de référence, qui représentait le plus grand succès d'édition d'un prix Nobel francophone au cours des dix années précédentes au moins.⁷¹ Il est donc probable que, au-delà du contenu de *La Nouvelle Alliance* et de ses thèses antagonistes à celles du livre de Monod, le prix Nobel de chimie belge ait souhaité se mesurer à cet autre prix Nobel, et que les très nombreuses références de Stengers et lui à Monod ne soient pas étrangères à cette rivalité intellectuelle et éditoriale entre deux prix Nobel francophones en sciences de la nature.

Pour aborder le contenu de ce dialogue de Prigogine et Stengers avec Monod, à neuf ans d'intervalle, je me suis concentré sur l'examen de plusieurs thèses défendues en 1970 par Monod et sur les critiques formulées par *La Nouvelle Alliance* à leur rencontre. Précisons d'abord la démarche de Monod et résumons à très gros traits le propos de son livre. Comme son sous-titre *Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne* l'indique, il s'agit pour

⁷⁰ Ces chiffres de ventes ont été communiqués à l'auteur par Jean-Marc Lévy-Leblond, physicien, essayiste et directeur des collections « Science ouverte » et « Points sciences » aux éditions du Seuil, le 10 juillet 2016.

⁷¹ On trouvera une analyse sociologique de la volonté des spécialistes des sciences de la nature (en particulier les biologistes) d'être reconnus comme intellectuels dans l'espace public et médiatique, à partir du tout début des années 1970, dans (Lemerle, 2009).

l'auteur de présenter aux lecteurs non spécialistes les travaux les plus récents au sein de ce qu'il nomme, de façon générique, la « biologie moderne » – qu'il appelle plus précisément la « théorie moléculaire du code génétique » (Monod, 1970, 12) dès les premières pages de son livre –, et dont il est un des artisans français de tout premier plan, et, surtout, d'exposer les interprétations philosophiques qu'il tire de ces travaux. En ce sens, on peut dire que la démarche intellectuelle de Prigogine et de Stengers est assez proche de celle de Monod. Dans les deux cas, il s'agit, pour des scientifiques de renom, de « penser leur discipline dans l'ensemble de la culture moderne pour l'enrichir non seulement de connaissances techniquement importantes, mais aussi des idées venues de leur science qu'ils peuvent croire humainement significantes » (*ibid.*, 13). Ainsi, il apparaît que *La Nouvelle Alliance* entreprend en 1979, avec la thermodynamique, ce que *Le hasard et la nécessité* a réalisé, en 1970, avec la biologie moléculaire. L'originalité de Prigogine par rapport à Monod est certainement d'avoir décidé de mener cette entreprise à deux, en collaboration avec Stengers, alors doctorante en philosophie des sciences, afin notamment de mobiliser une culture philosophique bien plus vaste que la sienne propre. Mais, dans les deux cas, il est clair que l'approche choisie consiste à mêler considérations techniques et réflexions philosophiques, et donc, en quelque sorte, à mettre en œuvre le type d'alliance interdisciplinaire entre sciences de la nature et philosophie, que Prigogine et Stengers promeuvent en 1979, mais que Monod pratiquait déjà, sans évidemment nommer ainsi sa démarche, dès 1970.

Analogie dans la démarche, donc, mais assurément pas dans le contenu scientifique et philosophique des deux ouvrages en question. Pour Monod, les êtres vivants se distinguent radicalement du reste de l'univers par certaines caractéristiques spécifiques. Selon lui, bien qu'entièrement soumis aux principes de la physique classique et intégralement explicables par leur étude à l'échelle moléculaire, les systèmes vivants sont caractérisés par des propriétés singulières qui s'articulent autour de quatre phénomènes : la reproduction invariante du code génétique par la machinerie moléculaire dédiée à sa réplication ; la traduction de ce code par le biais de la synthèse biochimique de protéines ; le hasard des mutations qui surviennent, de façon récurrente, au cours des processus de réplication du code génétique ; la sélection, dans le cadre de la théorie de l'évolution, des mutations les plus favorables en termes d'adaptation à l'environnement de chaque système vivant concerné. D'un point de vue philosophique, conformément au titre de son ouvrage, la principale thèse de Monod est que, si la nécessité joue un rôle fondamental dans la reproduction invariante du code génétique (et dans la traduction des séquences de gènes en protéines), c'est le hasard qui est premier, logiquement comme temporellement, car c'est lui qui permet les variations potentiellement infinies du support

génétique que la nécessité (c.-à-d. le déterminisme physico-chimique) s'attache ensuite à conserver sans variation, génération après génération (*ibid.*, 112, 135). Cette thèse philosophique de Monod, qui affirme la centralité du hasard dans le monde vivant, se décline d'ailleurs également, chez lui, comme réponse à la question de l'origine de la vie. Je me suis attaché à montrer que *La Nouvelle Alliance* constituait une réponse critique – souvent explicite, parfois implicite – à chacune des thèses de Monod, et présentait, sur chacune des thématiques correspondantes, une position très éloignée, voire diamétralement opposée à celle de Monod (Bertrand, 2023b).

J'ai par ailleurs étudié la réception francophone immédiate de l'ouvrage de Prigogine et Stengers. Surtout, j'ai cherché à comprendre pourquoi ce succès d'édition s'était accompagné à la fois d'une réception de tonalité très largement élogieuse dans la sphère intellectuelle et d'une série de débats intenses et de controverses vives et quasiment interminables, dans le milieu académique, aussi bien concernant ses aspects scientifiques que philosophiques, et plus généralement à propos de la plupart des thèses qu'il défend. Pour mener cette enquête, je me suis appuyé sur le dossier de presse de l'ouvrage, constitué par les éditions Gallimard. Ce dossier de presse comprend un article de la fin de l'année 1979 et 39 articles de 1980. Il s'agit aussi bien d'articles de presse, généraliste ou spécialisée, nationale ou régionale, française, suisse ou belge, dans des quotidiens ou des magazines, que d'articles de recension dans des revues de recherches en sciences humaines et sociales. Il m'a semblé important d'ajouter à ce corpus rassemblé par les éditions Gallimard sept articles consacrés à *La Nouvelle Alliance* et publiés entre 1980 et 1982. Sur les 47 articles qui constituent finalement mon corpus de réception francophone immédiate de l'ouvrage, 33 sont plutôt ou franchement positifs, voire élogieux, 7 sont critiques, parfois même violemment, et 7 sont équilibrés, ou constituent des recensions purement descriptives du contenu du livre, sans aucun jugement de valeur.

À peine quelques mois après la publication de *La Nouvelle Alliance*, la toute nouvelle revue intellectuelle généraliste, *Le Débat*,⁷² est le théâtre, à partir de juillet 1980, d'une violente controverse intellectuelle à propos de l'ouvrage de Prigogine et Stengers. Cette controverse, qualifiée en 1982 de « querelle du déterminisme » (Petitot, 1982) par le mathématicien et philosophe des sciences français Jean Petitot (né en 1944), donnera lieu en 1990 à un livre collectif faisant le bilan de six années de débats, et dirigé par le philosophe et historien franco-

⁷² La revue *Le Débat* est fondée en mai 1980, au sein des éditions Gallimard, par l'historien et éditeur Pierre Nora (né en 1931), immédiatement rejoint dans cette entreprise éditoriale par le philosophe et historien Marcel Gauchet (né en 1946), qui occupe la fonction de « rédacteur » de la revue, dès son lancement.

polonais Krzysztof Pomian (né en 1934), membre de l'équipe de rédaction du *Débat*. Cet ouvrage collectif, intitulé précisément *La querelle du déterminisme* (Pomian, 1990), reviendra en détail sur cet âpre affrontement en rassemblant les différentes contributions initiales (déjà publiées) à cette controverse et leurs prolongements (déjà publiés ou inédits) jusqu'en 1986. La querelle en question implique de nombreux chercheurs en mathématiques, en sciences de la nature, et en sciences humaines et sociales : le philosophe polonais Stefan Amsterdamski (1929-2005), le biologiste et philosophe français Henri Atlan (né en 1931), le biologiste français Antoine Danchin (né en 1944), le mathématicien français Ivar Ekeland (né en 1944), le philosophe des sciences français Jean Largeault (1930-1995), le sociologue et philosophe français Edgar Morin (né en 1921), Jean Petitot (né en 1944), Ilya Prigogine, le physicien franco-belge David Ruelle (né en 1935), Isabelle Stengers, et le mathématicien et philosophe des sciences français René Thom (1923-2002).

Au terme de l'analyse de cette querelle du déterminisme – controverse qui s'est principalement déployée de 1980 à 1986, dans le sillage de la publication de *La Nouvelle Alliance* –, il est possible d'en dégager plusieurs caractéristiques. Le débat, initié par René Thom en juillet 1980 (Thom, 1980), a fait émerger deux camps difficilement réconciliables : les adeptes du déterminisme universel d'un côté, et, de l'autre, les auteurs, qui, sans nier l'existence de comportements déterministes dans la nature, accordent une place de choix au hasard dans les descriptions scientifiques. Au moment où paraît le volume collectif *La querelle du déterminisme*, en 1990, rien ne permet de dire que la controverse entre les options de Thom et de Prigogine et Stengers soit sur le point de se clore. Les positions antagonistes correspondantes semblent inconciliables, et partagent d'ailleurs aujourd'hui encore la communauté scientifique, tout comme celle des philosophes. Le caractère (selon moi) interminable de cette controverse est certainement lié au fait que les positions déterministes ou indéterministes recouvrent très largement des options métaphysiques, ou, pour le dire autrement, des visions du monde, dont le pluralisme est probablement inhérent aux sociétés humaines. Néanmoins, ces options métaphysiques, ou philosophiques, semblent malgré tout liées à un certain tropisme disciplinaire, si l'on se fie aux interprétations des protagonistes étudiés ici. Dans cet affrontement souvent virulent, on en vient presque à se demander si l'on n'a pas en grande partie affaire à une querelle de disciplines, qu'elle soit exprimée explicitement, comme chez Thom, Prigogine, Stengers, ou encore Petitot, ou implicitement chez la plupart des autres contributeurs.

Parmi les six auteurs impliqués dans cette querelle de 1980-1986 que nous proposons de qualifier d'« indéterministes » – dans la mesure où leur position est très proche de la thèse développée dans *La Nouvelle Alliance* –, on dénombre deux physiciens (Prigogine, Ruelle), trois philosophes (Stengers, Morin, Amsterdamski) et un biologiste et philosophe (Atlan). Du côté des cinq auteurs explicitement « déterministes » impliqués dans cette querelle, on ne compte quasiment que des acteurs proches des mathématiques, même si seulement trois sont d'authentiques mathématiciens (Thom, Petitot, Ekeland) et si l'un est plutôt un logicien et philosophe des sciences (Largeault). La seule exception relève du biologiste Danchin, qui, loin de partager la plupart des positions des quatre auteurs précédents, les rejoint sur la question du déterminisme. Sans cette exception, on serait tenté de conclure que la position déterministe est intimement liée à une conception du monde majoritaire chez les mathématiciens. Sans aller jusqu'à une assertion aussi tranchée, il semble bien que l'évocation par l'un des protagonistes (Ruelle) de phénomènes « en pratique imprévisibles » (Pomian, 1990, 160) permette – même si ce n'était pas là son intention – de saisir la différence d'appréhension du déterminisme entre physiciens et mathématiciens. Ce qui rend un phénomène imprévisible « en pratique » est l'impossibilité dans laquelle se trouve un observateur humain de déterminer avec exactitude, sans la moindre approximation, les conditions initiales d'un système matériel, c'est-à-dire de déterminer un état instantané (par exemple la position et la vitesse de l'ensemble de ses composantes) de ce système avec une précision infinie. Un physicien, un biologiste, et même, dans une certaine mesure, un philosophe (ou un sociologue), n'ont jamais et n'auront jamais accès à un état singulier du monde (ou plutôt d'une partie du monde) avec une précision infinie. Pour un mathématicien, au contraire, la précision infinie n'est absolument pas un problème : le point, la droite ou le plan sont des objets infiniment précis qu'il manie quotidiennement. Là se situe peut-être une distinction essentielle entre les mathématiques et les autres sciences de la nature : pour un physicien (ou un biologiste), l'infini n'existe pas, alors qu'il existe indubitablement pour un mathématicien. Insistons cependant sur le fait que la réduction de cette controverse autour du déterminisme à un affrontement entre physiciens et mathématiciens n'est pas entièrement satisfaisante : certains physiciens, encore aujourd'hui, adhèrent volontiers à l'idée du déterminisme intégral.

Enfin, au cours de ce travail, j'ai tenté de cerner et d'analyser le phénomène, existant préalablement mais amplifié et promu par *La Nouvelle Alliance* et certains de ses lecteurs, d'extension du domaine de la thermodynamique à de très nombreux autres champs de la connaissance : la philosophie d'abord – la volonté de tirer des enseignements philosophiques des résultats de la thermodynamique étant au cœur de la démarche de Prigogine et Stengers –,

mais aussi la chimie, la biologie, l'écologie, l'économie, les sciences sociales, et même la psychanalyse. Dans *La Nouvelle Alliance*, les auteurs attribuent à la thermodynamique de non-équilibre, et plus particulièrement à la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre, c'est-à-dire à la science développée notamment par Prigogine et ses collaborateurs, une puissance interprétative qui s'étend bien au-delà de son domaine initial, la physique. Il s'agit, pour Prigogine et Stengers, et nombre de leurs lecteurs, de généraliser les résultats de la thermodynamique de non-équilibre à des domaines aussi variés, et éloignés les uns des autres, que la chimie, la biologie, l'écologie, les sciences sociales, ou, bien entendu, la philosophie.

Depuis l'émergence de la chimie moderne, à la fin du XVIII^e siècle, la frontière entre physique et chimie est particulièrement poreuse, du simple fait que ces domaines scientifiques s'intéressent tous les deux aux comportements de la matière inerte. Cette proximité avec la chimie est encore plus manifeste pour la thermodynamique, qui étudie les évolutions et les changements d'état d'équilibre de la matière lorsque celle-ci est composée d'un très grand nombre d'éléments, qui sont précisément, la plupart du temps, des entités chimiques, c'est-à-dire des atomes ou des molécules. En quelque sorte, on peut même dire que les systèmes chimiques ont toujours constitué le terrain d'application naturel des travaux de thermodynamique. En ce qui concerne l'extension du domaine de la thermodynamique à la chimie, les approches de thermodynamique de non-équilibre développées dès les années 1950 dans l'équipe de Prigogine, et décrites dans *La Nouvelle Alliance*, ne font donc pas exception à la règle. D'ailleurs, dans le laboratoire de Prigogine, une partie des chercheurs sont davantage identifiés comme chimistes que comme physiciens. Ainsi, dès sa naissance, en 1967, la théorie thermodynamique des structures dissipatives, pour laquelle Prigogine obtiendra le prix Nobel de chimie en 1977, est étendue aux phénomènes chimiques. D'ailleurs, le fait même que Prigogine, bien que très majoritairement considéré comme un physicien, ait obtenu le prix Nobel de chimie, est révélateur de l'enchevêtrement intime entre physique et chimie dans le cadre de la thermodynamique que ses collègues et lui ont développée.

En ce qui concerne l'extension du domaine de la thermodynamique de non-équilibre à des phénomènes biologiques, elle constitue en revanche une pratique scientifique nettement moins répandue, au moment de la publication de *La Nouvelle Alliance*. Ce n'est qu'à partir de 1969 que se développe véritablement, dans le laboratoire de Prigogine, une activité de recherche dédiée à l'application de la thermodynamique de non-équilibre, et notamment de la théorie des structures dissipatives, au domaine de la biologie. Au cours de la décennie qui précède la publication de l'ouvrage de Prigogine et Stengers, est donc mise en œuvre, dans l'équipe de

Prigogine, une authentique extension du domaine de la thermodynamique aux phénomènes biologiques. Avant d'être revendiquée, justifiée, vulgarisée, et même promue par le discours de *La Nouvelle Alliance*, cette extension à la biologie est donc avant tout une pratique scientifique théorique concrète de Prigogine et de ses collaborateurs. Les systèmes biologiques considérés dans le cadre de ces recherches théoriques du laboratoire de Prigogine relèvent pour certains de la biochimie moléculaire, pour d'autres de la biologie cellulaire, et pour d'autres encore de la biologie des écosystèmes, ou écologie. Dans ce dernier cas, les travaux portent notamment sur l'application de la thermodynamique à la modélisation mathématique de l'évolution de populations d'espèces animales en compétition pour les ressources au sein d'un écosystème, ou à la modélisation du comportement collectif et de la spécialisation différenciée des tâches dans une population d'insectes sociaux (fourmis, termites).

À partir de 1976, quelques chercheurs du laboratoire de Prigogine franchissent la frontière entre modélisation théorique de sociétés d'animaux ou d'insectes et modélisation physico-mathématique des sociétés humaines, notamment dans le cas de modèles d'urbanisation. Il s'agit cette fois-ci d'une extension du domaine de la thermodynamique de non-équilibre aux phénomènes sociaux et économiques, c'est-à-dire d'une application de la thermodynamique au domaine des sciences sociales. Enfin, l'alliance que Prigogine et Stengers promeuvent tout au long de leur ouvrage entre sciences de la nature en général, et thermodynamique en particulier, d'une part, et philosophie, d'autre part, peut être considérée comme une extension du domaine de la thermodynamique à la philosophie. Cette possibilité de mobiliser la thermodynamique de non-équilibre pour explorer des questions philosophiques correspond d'ailleurs à l'une des thèses centrales de *La Nouvelle Alliance*.

Mon enquête sur l'ouvrage de Prigogine et Stengers a permis de clarifier les enjeux historiques et philosophiques de la thermodynamique, une branche de la physique vieille de bientôt deux siècles, mais toujours active, et surtout indispensable dans une multiplicité de domaines de recherche, comme la climatologie, pour n'en citer qu'un parmi d'innombrables exemples. Ce travail m'a également fait entrer au cœur de la fabrique académique d'un best-seller scientifique.⁷³ Il m'est notamment apparu que l'un des objectifs implicites de *La Nouvelle Alliance* était d'installer Prigogine en majesté dans la grande histoire de la physique. Une des dimensions de l'ouvrage relève incontestablement de la promotion de la postérité de l'œuvre scientifique de l'un de ses deux auteurs. J'ai déjà indiqué que cette promotion passait par

⁷³ Pour l'analyse de la fabrique d'un best-seller dans un autre domaine (histoire des religions) et à une autre époque (1863), on pourra se reporter à (Richard, 2015).

l'installation d'un parallèle entre Newton et Prigogine, le second étant parfois même présenté comme le successeur du premier. Prigogine serait ainsi le premier scientifique capable de proposer une nouvelle synthèse de la physique, et même une vision globale du monde alternative à celle résultant des travaux de Newton. Mais ce n'est pas le seul grand nom de l'histoire de la physique moderne avec lequel le prix Nobel de chimie de 1977 est mis sur un pied d'égalité. En effet, certainement plus encore que celui de Newton, Prigogine est souvent dépeint, aussi bien dans *La Nouvelle Alliance* que dans certains livres ultérieurs de Prigogine lui-même ou de Stengers, comme l'héritier du physicien autrichien Ludwig Boltzmann, c'est-à-dire comme celui qui a repris son flambeau, et a réussi là où le physicien autrichien aurait finalement échoué.⁷⁴ De ce point de vue, il n'est pas anodin que Boltzmann soit le physicien le plus cité dans *La Nouvelle Alliance*. D'ailleurs, dans son livre, *Physique, temps et devenir* (Prigogine, 1980), écrit seul et publié quelques mois après *La Nouvelle Alliance*, Prigogine rend hommage au physicien autrichien : « Boltzmann, ce physicien révolutionnaire dont la pensée était basée sur une extraordinaire intuition, devina le type d'équation qui pouvait décrire l'évolution de la matière au niveau microscopique tout en explicitant les processus irréversibles » (Prigogine, 1980, 218). Prigogine n'aura de cesse, dans la suite de sa carrière, de se présenter comme l'héritier de Boltzmann.

Finalement, Prigogine et Stengers, avec *La Nouvelle Alliance*, ont contribué à mettre en évidence certaines apories des sciences physiques modernes, et notamment leur prétention à décrire l'ensemble du monde à l'aide d'un unique langage physico-mathématique, et leur incapacité fondamentale à dialoguer avec les sciences humaines et sociales. Historiquement, ces sciences modernes ont souvent rejeté comme non pertinents les phénomènes irréversibles et les phénomènes aléatoires, au nom d'une universalité dogmatiquement postulée de la réversibilité et du déterminisme. Le dialogue singulier entre le physicien Ilya Prigogine et la philosophe Isabelle Stengers a également mis en lumière l'importance des apports conceptuels de la thermodynamique de non-équilibre pour pallier certaines insuffisances des précédentes descriptions du monde offertes par les sciences physiques. Pour autant, dans de nombreux passages de leur ouvrage, la tentation des auteurs semble grande de remplacer un dogme scientifique par un autre, c'est-à-dire de remplacer la « science newtonienne » par une prétendument plus complète « science prigoginienne ». Peut-être serait-il plus pertinent de considérer que cette thermodynamique de non-équilibre propose une vision du monde

⁷⁴ Spécialiste incontournable de l'œuvre de Boltzmann (Darrigol, 2018), l'historien des sciences français Olivier Darrigol explique, dans un article où il propose, puis commente, une nouvelle traduction en anglais d'un article séminal du physicien (Boltzmann, 1877), que Boltzmann avait déjà répondu, par anticipation, aux objections du type de celles soulevées par Prigogine et Stengers (Darrigol, 2021).

différente, mais aussi complémentaire, de celle qu'offre la science newtonienne, et que leur vocation n'est pas de s'affronter en vue d'une impossible hégémonie. Ainsi, la pluralité des visions scientifiques du monde, souvent défendue avec acharnement, et de façon convaincante, dans *La Nouvelle Alliance*, ne devrait pas, selon moi, être sacrifiée sur l'autel de l'illusoire constitution de la thermodynamique de Prigogine en une nouvelle synthèse, dont la science newtonienne ne serait plus qu'un cas particulier exotique.

Bien sûr, les controverses scientifiques suscitées par les travaux de physique de Prigogine et de ses collaborateurs, ainsi que par la pratique de l'interdisciplinarité promue par *La Nouvelle Alliance*, sont loin d'être closes, et les débats philosophiques correspondants sont par nature interminables, tant ils touchent à des questions immémoriales qui engagent une vision globale du monde, qu'il s'agisse de la question du déterminisme, de l'irréversibilité ou encore du réalisme physique. En fin de compte, seul l'avenir permettra peut-être de trancher à propos de la postérité de l'œuvre de physicien de Prigogine. Mais force est de constater que, en ce qui concerne l'alliance interdisciplinaire promue par Prigogine et Stengers entre la physique et les autres formes de connaissance, notamment philosophiques, la prophétie de *La Nouvelle Alliance* est restée en grande partie lettre morte. Certes, quelques physiciens n'ont de cesse de s'interroger, en particulier dans le domaine de la mécanique quantique,⁷⁵ sur les conséquences épistémologiques, voire métaphysiques, de leurs travaux, et notamment sur le statut philosophique de la réalité à laquelle les sciences physiques permettent d'accéder. Réciproquement, quelques philosophes s'efforcent d'intégrer à leurs réflexions certains apports de la physique contemporaine.⁷⁶ Mais l'honnêteté incite à reconnaître que ces tentatives restent marginales. Malgré les grands discours, académiques comme institutionnels, de promotion de l'interdisciplinarité, répétés à l'envi depuis plusieurs décennies, les territoires disciplinaires sont toujours bien balisés, et rares sont les chercheurs qui se risquent à sortir de leur couloir.⁷⁷

Quant aux essais pour mobiliser la thermodynamique en vue d'accroître notre intelligence des phénomènes sociaux, on peut sans peine affirmer que rien de bouleversant n'en a émergé. Même dans le laboratoire de thermodynamique de l'Université libre de Bruxelles, longtemps dirigé par Prigogine, les « modélisateurs sociaux »⁷⁸ ont petit à petit disparu, après la mort du prix Nobel. Plus généralement, dans ses réflexions de 2018 dédiées à cette

⁷⁵ Le lecteur pourra se reporter au livre collectif (Espagnat, Zwirn, 2014) pour un exemple particulièrement riche de ce type d'interrogations.

⁷⁶ L'ouvrage collectif (Bitbol, Laugier, 1997) en offre une parfaite illustration.

⁷⁷ D'ailleurs, même s'ils sortent souvent de leur couloir disciplinaire, on peut considérer que nos deux auteurs restent toujours fidèles à leur discipline de prédilection : la physique pour Prigogine, la philosophie pour Stengers.

⁷⁸ L'expression est d'Isabelle Stengers : entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015.

problématique, le physicien Pablo Jensen va jusqu'à défendre la thèse d'un « affaiblissement de l'ambition modélisatrice face à la résistance du social » (Jensen, 2018, p. 312). Apparue dans la première moitié du XIX^e siècle, la thermodynamique est une branche de la physique toujours active, féconde, et mobilisée massivement dans un grand nombre de champs de recherche, mais elle n'est pas réellement parvenue – et je doute vraiment que telle soit sa vocation ultime – à s'extraire de son domaine, celui, déjà immense, de la compréhension du comportement de la matière inerte à notre échelle.

Ce travail sur l'histoire et la philosophie de la thermodynamique, mené à partir d'une enquête sur *La Nouvelle Alliance* comme fil conducteur, est paru le 28 juin 2023 aux éditions Classiques Garnier, au sein de la collection « Philosophies contemporaines », dirigée par les philosophes Jocelyn Benoist et Bruno Gnassounou. Le titre que j'ai choisi pour ma monographie, et que Jocelyn Benoist a immédiatement approuvé, est le suivant : *Extension du domaine de la thermodynamique. Anatomie d'une controverse* (Bertrand, 2023a). Le physicien, historien et philosophe des sciences états-unien Peter Galison, professeur à l'université de Harvard, a généreusement accepté d'écrire une préface pour mon ouvrage. Ma décision de solliciter Peter Galison a été notamment motivée par le fait que, parmi les nombreux ouvrages importants qu'il a écrits en histoire et philosophie des sciences, son livre *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time* (Galison, 2003), traduit en français en 2006 (Galison, 2006), croise un certain nombre des objets sur lesquels je me suis penché. En outre, il s'agit d'un historien des sciences états-unien qui manie parfaitement la langue française.

3. L'interdisciplinarité au sein des sciences humaines et sociales pour scruter les sciences de la nature. Réfléchir à mes propres pratiques

Une fois devenu historien des sciences, acculturé à mon nouveau domaine par les lectures et les cours du master en histoire des sciences de l'EHESS et par la fréquentation de Bernadette Bensaude-Vincent, puis de mes collègues du Centre Alexandre-Koyré, j'ai immédiatement mobilisé, dans mes recherches (et mes enseignements) en sciences humaines et sociales, aussi bien l'histoire que la philosophie ou la sociologie des sciences, voire les sciences politiques. J'ai donc tout de suite mis en œuvre des approches interdisciplinaires, sans pour autant en faire une revendication méthodologique explicite, et sans brandir l'interdisciplinarité comme un étendard ou l'ériger comme la seule bonne façon de faire de la recherche en sciences humaines et sociales. Plus prosaïquement, et dans une optique tout simplement pragmatique, j'ai scruté des objets relatifs aux sciences de la nature en utilisant les approches (disciplinaires ou pas) qui me semblaient les plus utiles, ou fécondes, au cas par cas. J'ai ensuite cherché à comprendre d'où venait, historiquement, cette façon de pratiquer l'histoire des sciences sans réellement tenir compte des frontières disciplinaires, à laquelle je m'étais accoutumé spontanément au cours de la réorientation de ma carrière de chercheur. Il s'agissait donc, fondamentalement, de réfléchir à mes propres pratiques de chercheur en histoire des sciences, en m'efforçant de les situer dans le cours des évolutions historiques de mon nouveau domaine de recherche. C'est la principale raison pour laquelle je me suis alors intéressé à l'histoire du domaine de l'histoire des sciences, comme en témoignent les recherches que j'ai évoquées, au paragraphe IV.1, sur l'histoire de l'édition en histoire des sciences, notamment au sein des éditions Gallimard, sur les relations entre cette maison d'édition et le philosophe et historien des sciences Alexandre Koyré, ou encore l'ouvrage collectif dirigé avec Wolf Feuerhahn, *Arpenter l'histoire des sciences. Témoignages de chercheurs français contemporains* (Bertrand, Feuerhahn, 2023a). Je souhaite donc aborder, dans le présent paragraphe, quelques jalons de cette histoire récente de l'histoire des sciences, et suggérer quelques pistes de réflexion épistémologique sur le statut des connaissances en sciences de la nature.

À la toute fin des années 1960, se mettent en place, notamment en Grande-Bretagne, autour des universités d'Édimbourg (Écosse) et de Bath (Angleterre), de profonds changements d'approche dans les domaines académiques de l'histoire, de la philosophie et de la sociologie des sciences. Ce bouleversement méthodologique et intellectuel, qui a souvent été qualifié de « tournant social » de l'histoire des sciences, s'est installé progressivement tout au long des

années 1970 (et 1980), et a durablement changé la façon académique de parler des sciences.⁷⁹ Dans son sillage, un certain nombre de chercheuses et de chercheurs, dans divers pays, ont d'ailleurs préféré substituer aux labels « histoire des sciences » ou « sociologie des sciences » celui, considéré par eux comme plus général, d'« études sur les sciences », issu de l'anglais *Science studies*. Revenons donc sur ce mouvement qui s'initie à la toute fin des années 1960 et s'amplifie dans les années 1970 et 1980.

Avant les années 1960, les études académiques de sciences humaines et sociales prenant les sciences de la nature pour objet d'investigation étaient assez hermétiquement cloisonnées les unes par rapport aux autres. D'un côté, l'histoire des sciences était majoritairement une histoire des concepts et des théories scientifiques et était intimement liée à la philosophie des sciences – essentiellement désignée en France comme « épistémologie ». On peut donc dire qu'il s'agissait principalement d'une histoire philosophique des sciences, ou d'une épistémologie intégrant des développements historiques. Ses figures tutélaires étaient fondamentalement des philosophes, parmi lesquels on peut citer notamment le philosophe français Gaston Bachelard (1884-1962), le philosophe des sciences britannique d'origine autrichienne Karl Popper (1902-1994), le philosophe et historien des sciences Alexandre Koyré, ou encore le philosophe des sciences français Georges Canguilhem (1904-1995).⁸⁰ De l'autre côté existait, depuis le début des années 1940, une sociologie des sciences, dont la figure de proue était le sociologue états-unien Robert King Merton (1910-2003). La sociologie des sciences de Merton, ou d'inspiration mertonienne, se focalisait sur les normes éthiques qui régulent le métier de scientifique et sur les contextes institutionnels orientant le choix des objets de recherche des scientifiques (Gingras, 2017, 97).⁸¹

Une première manifestation du dépassement de ces cloisonnements disciplinaires fut l'œuvre d'historiens des sciences marxistes, dans les années 1930, avec notamment le physicien, philosophe et historien des sciences soviétique Boris Hessen (1893-1936 ; Hessen, 1931) et le physicien, historien et sociologue des sciences britannique John Desmond Bernal (1901-1971 ; Bernal, 1939). La principale tentative ultérieure de mobilisation simultanée de l'histoire, de la philosophie et de la sociologie des sciences fut celle du philosophe et historien des sciences états-unien Thomas Samuel Kuhn (1922-1996). En 1962, il publia *The Structure of Scientific Revolutions*, traduit en français en 1972 sous le titre *La structure des révolutions*

⁷⁹ Sur cette mutation du domaine de l'histoire des sciences, le lecteur pourra consulter (Pestre, 2006).

⁸⁰ Pour une anthologie de textes de ces historiens et philosophes des sciences (et d'autres), on pourra se reporter à (Braunstein, 2008) et au premier volume de (Laugier, Wagner, 2004).

⁸¹ Pour un texte représentatif de la sociologie de Merton, voir (Merton, 1942).

scientifiques (Kuhn, 1972). Cet ouvrage, qui fut un véritable best-seller, devint rapidement une référence pour un grand nombre de chercheurs en histoire, en philosophie et en sociologie des sciences. Kuhn y définissait notamment le concept de « paradigme », qui, pour le dire de façon condensée, représente l'ensemble des notions, des théories, des expériences, des méthodes, et des exemples considérés comme pertinents, que partage une communauté scientifique au sein d'une discipline ou d'une sous-discipline scientifique.

Progressivement, à partir de la toute fin des années 1960, un certain nombre de sociologues, historiens et philosophes des sciences, de formations initiales variées, souvent en sciences de la nature, et travaillant dans plusieurs endroits différents, essentiellement en Europe de l'ouest, mais aussi en Amérique du nord, ont commencé à s'intéresser explicitement, dans un cadre généralement indépendant de la lecture marxiste de l'histoire, aux interactions entre le contenu des énoncés scientifiques et leur contexte socio-historique au sens large. Je mentionnerai ici principalement deux équipes universitaires britanniques car ce sont celles qui ont le plus explicitement développé, à cette époque, d'authentiques programmes de recherche en histoire, philosophie et sociologie des sciences.

À l'université d'Édimbourg, en Écosse, au milieu des années 1960, le biologiste du développement, paléontologue et généticien Conrad Waddington (1905-1975) suggère que les étudiants en sciences de la nature suivent des cours sur le thème « sciences et société » (Briatte, 2007), et un département universitaire, intitulé *Science Studies Unit*,⁸² est créé à cet effet. L'université d'Édimbourg nomme à la tête de ce nouveau département David Edge (1932-2003), astronome qui avait quitté l'université de Cambridge pour animer des émissions scientifiques à la radio publique britannique BBC, et devient alors sociologue des sciences à l'université d'Édimbourg. Rapidement, trois autres enseignants-chercheurs de moins de trente ans sont nommés dans la *Science Studies Unit*. David Bloor, né en 1942, a une double formation initiale en mathématiques et en philosophie, et a mené des recherches doctorales à l'université de Cambridge en philosophie des sciences et en psychologie de la cognition. Rapidement, il s'affirme dans l'unité de *Science studies* comme à la fois sociologue et philosophe des sciences, et il est aujourd'hui toujours en activité dans cette même structure universitaire. Il est très rapidement rejoint par Barry Barnes, né en 1943, initialement chercheur en chimie, et qui devient rapidement le sociologue des sciences du département. Il est lui-aussi toujours en

⁸² C'est ce terme *Science studies* – littéralement « études sur les sciences » - qui sera souvent retenu pour désigner l'ensemble de ces nouvelles approches en histoire, philosophie et sociologie des sciences. Le terme anglais *unit* désigne ici un département (universitaire), c'est-à-dire une unité administrative parfois appelée aussi service, ou encore laboratoire.

activité aujourd'hui, mais à l'université d'Exeter, en Angleterre. Le dernier arrivé est Steven Shapin, né lui aussi en 1943, initialement chercheur en biologie, et qui devient rapidement l'historien des sciences de l'équipe. Aujourd'hui, il travaille à l'université de Harvard, aux États-Unis. Ce noyau dur de quatre enseignants-chercheurs sera rejoint, dans les années 1970 par d'autres chercheurs, et l'on se réfère souvent à cette *Science Studies Unit* comme à l'« école d'Édimbourg » d'études sur les sciences. Malgré son rattachement explicite à la sociologie, une caractéristique essentielle et explicitement revendiquée de ce nouveau domaine de recherche, la *Sociology of Scientific Knowledge* (SSK) – « sociologie de la connaissance scientifique » en français –, est l'interdisciplinarité (histoire, philosophie, sociologie) au sein des sciences humaines et sociales. Je peux donc affirmer sans hésitation que c'est en partie dans la filiation de cette SSK que se développent mes propres recherches interdisciplinaires en histoire des sciences depuis 2010.

La *Science Studies Unit* développe dès sa création un programme de recherche, formulé explicitement et intitulé « programme fort » en 1976 par David Bloor, dans son ouvrage *Knowledge and Social Imagery* (Bloor, 1991). Dans ce livre, Bloor définit une connaissance comme une croyance collective, c'est-à-dire comme ce que des acteurs sociaux considèrent collectivement comme une connaissance, un savoir. Il affirme que le nouveau domaine intitulé « sociologie de la connaissance scientifique » (ou SSK en anglais) s'intéresse aux facteurs qui influencent les connaissances scientifiques et que cette nouvelle approche est applicable aussi bien aux croyances scientifiques vraies qu'aux croyances scientifiques fausses. Il s'agit d'expliquer toutes les croyances scientifiques collectives, indépendamment du jugement du sociologue (ou historien ou philosophe) sur la véracité de ces croyances (Bloor, 1991, 5). Il précise bien que les facteurs explicatifs en question comprennent aussi bien des processus sociaux généraux, externes au domaine scientifique, que des processus internes à la logique scientifique spécifique.⁸³ Il formule alors le « programme fort en sociologie de la connaissance scientifique », un programme de recherche reposant sur quatre principes méthodologiques (Bloor, 1991, 7). Le premier principe, qui est indéniablement le plus important et résume presque à lui seul l'ensemble de l'approche de la SSK, est le « principe de causalité » : l'objet de la SSK est de déterminer les conditions, les causes de l'émergence d'une connaissance, étant entendu que ces causes ne sont pas uniquement des causes sociales, mais également des causes expérimentales et cognitives. Le second principe est celui de l'impartialité du chercheur en SSK

⁸³ En ce sens, David Bloor est indéniablement beaucoup plus subtil que ce que le philosophe, sociologue et anthropologue des sciences français Bruno Latour incite à penser en présentant, de façon caricaturale, son approche comme relevant du déterminisme social (Latour, 1983).

à l'égard de la vérité ou de la fausseté de la connaissance considérée. L'objectif de ce principe est notamment d'éviter à l'analyste de formuler des jugements anachroniques à propos de la véracité des connaissances scientifiques, c'est-à-dire de juger les connaissances du passé à l'aune de celles du présent. Le troisième est un principe de symétrie à propos du type d'explication invoqué : les mêmes types de causes expliquent les croyances scientifiques vraies et fausses. Enfin le quatrième est le principe de réflexivité : les types d'explications invoqués doivent pouvoir s'appliquer aussi aux connaissances issues de la sociologie de la connaissance scientifique elle-même. Sans cela, estime Bloor, le cas de la connaissance sociologique (ou historienne, ou philosophique) invaliderait la démarche de la SSK. L'essentiel du programme fort, et plus généralement de la SSK, peut être résumé en une prescription méthodologique fondamentale : en histoire, philosophie et sociologie des sciences, pour rendre intelligibles l'émergence et le déploiement d'une connaissance scientifique, il est indispensable d'intégrer à l'analyse le contexte social et historique général dans lequel cette connaissance émerge et se déploie. Le programme fort de Bloor vient donc formaliser, en 1976, un programme de recherche qui est déjà mis en œuvre implicitement depuis quelques années, non seulement au sein de la *Science Studies Unit*, mais également par des chercheurs de Grande-Bretagne et d'autres pays, qui ne développent pas pour autant une approche programmatique explicite (Forman, 1971 ; Farley, Geison, 1974).

L'université de Bath, en Angleterre, abrite un deuxième pôle important de développement des *Science studies*, au sein d'une équipe de recherche à laquelle il sera ensuite souvent fait référence comme à l'« école de Bath » d'études sur les sciences, et dont la personnalité centrale est Harry Collins. Né en 1943, Collins dispose d'une formation initiale en physique, puis en sociologie, et devient enseignant-chercheur en sociologie des sciences à l'université de Bath au début des années 1970. Son équipe développe, au cours des années 1970, le « Programme empirique du relativisme », énoncé explicitement par Harry Collins en 1981 (Collins, 1981), et que l'on peut considérer comme un prolongement du programme fort de David Bloor. Les objets d'étude privilégiés de ce programme de recherche sont les controverses scientifiques contemporaines, au moyen desquelles Collins et ses collègues s'efforcent de mettre en évidence la flexibilité interprétative des résultats scientifiques expérimentaux. Collins assume d'ailleurs le mot « relativisme », malgré ses connotations fort peu consensuelles, dans le libellé de son programme de recherche (*ibid.*). Très proche de celle du constructivisme social des sciences, la thèse (philosophique) du relativisme épistémologique affirme que les connaissances scientifiques sont relatives à un contexte social singulier, à une époque déterminée, par opposition à d'hypothétiques connaissances scientifiques absolues (Martin,

2005, 91-94 ; Pestre, 2006, 29-31). Les chercheuses et chercheurs de ce domaine se définissent ainsi souvent comme « constructivistes », et parfois comme « relativistes », mais les approches ainsi désignées sont critiquées dès les années 1970 par des historiens, des philosophes, ou des sociologues, qui refusent notamment la relativisation du statut des connaissances scientifiques (Martin, 2005, 91-96).

Retenons que ce nouveau courant (ou programme) de recherche concerne aussi bien les sociologues des sciences que les historiens des sciences, ou même les philosophes des sciences, ce qui explique la volonté d'afficher explicitement une approche résolument interdisciplinaire par le choix de la catégorie anglophone de *studies*, que l'on traduit en français par « études », et qui évite l'assimilation à une discipline précise au sein des sciences humaines et sociales. L'idée est d'étudier les sciences en mobilisant potentiellement toutes les disciplines des sciences humaines et sociales. Dès les années 1970, les dénominations se multiplient pour désigner ce nouveau domaine académique : *Sociology of scientific knowledge*, *Social studies of science*, *Science studies*, *Science and technology studies*, *Science, technology, and society*, ou encore, en France, histoire sociale des sciences et des techniques.

Cette approche des *Science studies* du monde anglophone est importée en France dès les années 1970. Je me contenterai de citer deux institutions françaises où s'opère cette importation. Mentionnons d'abord le Conservatoire national des arts et métiers (CNAM), où l'historien et philosophe des sciences (et économiste) français Jean-Jacques Salomon (1929-2008), après une thèse d'État en philosophie et histoire des sciences soutenue en 1970 sous la direction des philosophes Raymond Aron (1905-1983) et Georges Canguilhem, obtient en 1978 – tout en restant haut fonctionnaire spécialiste en politique scientifique au sein de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) de 1963 à 1983 – la chaire de professeur en « technologie et société. » Salomon y crée et dirige le Centre de recherches « Sciences, techniques et société. » Une autre institution où sont développées en France, au tout début des années 1980, les approches de *Science studies*, est l'École des Mines de Paris, et plus précisément son Centre de sociologie de l'innovation (CSI), laboratoire de recherche en sciences sociales fondé en 1967. Les deux principaux promoteurs des *Science studies* y sont l'ingénieur et sociologue français Michel Callon, né en 1945, qui rejoint le CSI dès sa création et le dirige de 1982 à 1994, et le philosophe, sociologue et anthropologue des sciences français Bruno Latour, qui rejoint le CSI en 1982.⁸⁴

⁸⁴ Callon et Latour éditent ensemble une anthologie des *Science studies* anglophones en 1982 (Callon, Latour, 1991). Précisons néanmoins que le positionnement de Bruno Latour vis-à-vis de ces *Science studies* anglophones

Outre les questions de méthodologie interdisciplinaire abordées à travers cette évocation du tournant social de l'histoire des sciences des années 1970, il apparaît clairement que l'une des questions épistémologiques fondamentales soulevées par ces historiens, sociologues et philosophes des sciences concerne le statut des connaissances scientifiques. En effet, les *Science studies*, en parallèle de la promotion d'une approche interdisciplinaire des études sur les sciences, promeuvent une thèse philosophique, voire métaphysique, forte : la thèse du relativisme épistémologique. Il s'agit de s'interroger sur le statut de ce que l'on désigne comme une connaissance scientifique. Selon cette thèse, une connaissance scientifique n'est jamais absolue, c'est-à-dire universelle et intemporelle, et est toujours relative à un contexte social et historique.

Afin de réexaminer à nouveaux frais cette thèse du relativisme épistémologique, je me suis efforcé, dans un article paru en 2023 dans la revue *Alliage : culture, science, technique*, de répondre aux questions suivantes (Bertrand, 2023c). Qu'est-ce qu'« établir un fait » en sciences de la nature, et particulièrement en physique ? Existe-t-il des faits « bruts » en physique ? Ou bien un « fait scientifique » ne peut-il être établi comme tel qu'après l'intervention d'une médiation humaine – sociale, interprétative ou instrumentale ? On peut tenter de répondre à ces questions par le recours à la philosophie, en mobilisant des réflexions sur la théorie de la connaissance, par exemple celles du philosophe Ernst Cassirer. Dans son célèbre ouvrage de 1910, déjà mentionné, *Substance et fonction*, Cassirer s'attache, entre autres, à analyser l'articulation entre expérimentation et théorie dans les sciences physiques (Cassirer, 1910).⁸⁵ Dans ce cadre, il écrit : « Tout "fait" suppose, pour être établi, une loi en forme d'hypothèse et ne reçoit sa détermination qu'en référence à une telle loi » (Cassirer, 1977, 269). Le philosophe exprime ainsi l'idée qu'il n'existe pas de « fait brut » en physique, et qu'établir un fait implique de mobiliser une théorie préexistante, seule à même de nous permettre d'interpréter un événement expérimental comme « fait ».

On pourrait multiplier ainsi les réflexions philosophiques pour explorer en profondeur cette question de l'établissement d'un fait en physique, mais j'ai choisi de privilégier une approche empirique en m'appuyant sur l'étude de deux cas d'histoire des sciences physiques

est ambigu, dès 1983 (Latour, 1983), moment à partir duquel, tout en s'en inspirant, il déprécie ces approches de façon récurrente. Plusieurs praticiens des *Science studies* développeront d'ailleurs des critiques approfondies de ce positionnement et des postures méthodologiques et philosophiques de Latour. Citons, parmi eux, le sociologue des sciences britannique David Bloor (Bloor, 1999) et l'historien des sciences britannique, né en 1955, Simon Schaffer (Schaffer, 1991), qui critiquent notamment certaines des positions exprimées par Latour dans ses ouvrages (Latour, Woolgar, 1979) et (Latour, 1984).

⁸⁵ Cet ouvrage a été traduit en français en 1977 (Cassirer, 1977).

développés dans la littérature. Le premier concerne l'histoire de la mise en évidence de la propagation des ondes électromagnétiques, et de leur détection, par le physicien Heinrich Hertz (1857-1894) autour de 1888, telle que relatée par deux historiens des sciences français, Michel Atten et Dominique Pestre, dans leur ouvrage de 2002 intitulé *Heinrich Hertz. L'administration de la preuve* (Atten, Pestre, 2002).⁸⁶ Le second cas a été étudié par le sociologue des sciences mentionné ci-dessus, Harry Collins, dans un article de 1975 pour la revue *Sociology* (Collins, 1975). Il s'agit là de l'histoire de la tentative de détection d'ondes gravitationnelles par le physicien Joseph Weber (1919-2000) dans les années 1960 et 1970. En plus de leur évidente différence d'époque, ces deux histoires offrent un contraste saisissant. Dans le premier cas, le phénomène étudié est entièrement fabriqué par le physicien, alors que, dans le second cas, il s'agit de détecter un phénomène *a priori* présent dans l'univers indépendamment de toute activité humaine.

L'histoire de la détection des ondes électromagnétiques commence avec les travaux effectués par le physicien allemand Heinrich Hertz au cours des années 1887 et 1888, à l'Université de Karlsruhe. En mai 1888 paraît un article dans lequel Hertz explique que : il a fabriqué un dispositif capable de générer des ondes électromagnétiques ; il s'est fixé comme objectifs de mettre en évidence la propagation de ces ondes et de déterminer leur vitesse de propagation ; il a fabriqué un détecteur d'ondes électromagnétiques (résonateur) ; il a réalisé des interférences entre ondes électromagnétiques et fabriqué ensuite des ondes stationnaires ; il a déterminé expérimentalement la longueur d'onde de ces ondes stationnaires ; et ainsi, connaissant la fréquence des ondes émises, il a finalement déterminé expérimentalement leur vitesse de propagation, et a obtenu un résultat d'environ 300 000 km/s, ce qui correspond à la vitesse de la lumière. Hertz affirme ainsi avoir démontré la validité de la théorie de James Clerk Maxwell (1831-1879) de 1864, à une époque où les deux principales théories concurrentes pour expliquer les phénomènes électromagnétiques n'ont pas encore été départagées expérimentalement : i) la théorie de Maxwell interprétant les phénomènes électromagnétiques comme intrinsèquement liés à des ondes électromagnétiques se propageant comme les ondes optiques, et à la même vitesse (la vitesse de la lumière) ; ii) la théorie (défendue par plusieurs savants d'Europe continentale) interprétant l'électromagnétisme comme une interaction instantanée à distance, au même titre que la gravitation.

⁸⁶ Je tiens à remercier Dominique Pestre pour nos nombreuses et instructives discussions à propos de ce travail.

Tout laisse à penser qu'il s'agit d'un cas classique de confirmation expérimentale d'une théorie non encore validée, à l'aide de faits établis par une série d'expériences. Mais, à y regarder de plus près, l'affaire se révèle beaucoup plus complexe. Il faut d'abord remarquer que, dans le cas présent, la physique ne consiste pas tant à « observer la nature » qu'à fabriquer des phénomènes artificiels précis et contrôlés (même si l'on peut aussi les rencontrer dans la nature, sous une forme plus complexe), puis à les étudier. Très souvent, en effet, en tout cas lorsqu'il ne s'agit ni d'astronomie ni d'astrophysique, la physique fabrique les systèmes (inspirés d'observations de la nature) qu'elle observe. Il est donc peut-être plus pertinent de dire que la physique est généralement une science qui fabrique des dispositifs à travers lesquels elle étudie des phénomènes susceptibles d'exister indépendamment de leur réalisation dans ces dispositifs particuliers. Le premier savant qui cherche à répliquer la mesure de Hertz, en mai 1889, est le physicien britannique Joseph John Thomson (1856-1940), successeur de Maxwell à la chaire de physique de Cambridge. Il s'agit du Thomson qui obtiendra en 1906 le *prix Nobel* pour ses expériences mettant en évidence l'existence des électrons. Finalement, Thomson ne parvient pas à reproduire l'expérience de Hertz,⁸⁷ et en conclut que ce dernier a un meilleur savoir-faire que lui, et qu'il est donc plus sage de lui faire confiance. Mais les choses commencent à sérieusement se gâter quelques mois plus tard lorsque deux physiciens de Genève, Lucien de la Rive (1834-1924) et Édouard Sarasin (1843-1917), entreprennent de refaire l'expérience de Hertz. Ils effectuent un très grand nombre d'expériences, dont les deux principaux résultats sont les suivants : i) la longueur d'onde mesurée des ondes stationnaires ne dépend pas de la fréquence des ondes émises par le générateur ; ii) la longueur d'onde mesurée des ondes stationnaires dépend de la fréquence propre du détecteur d'ondes électromagnétiques. Les deux Genevois publient ces résultats entre septembre 1889 et février 1890 (Atten, Pestre, 2002, 73). Ils affirment ainsi que le paramètre-clé de l'expérience de Hertz est la fréquence propre du détecteur d'ondes.

Contacté par ses pairs, Hertz répond qu'il avait noté ce phénomène, mentionné en effet dans ses cahiers de laboratoire dès 1887. Il explique qu'il avait alors décidé de simplifier le problème en réglant toujours le générateur et le détecteur d'ondes de telle sorte que les deux fréquences soient identiques.⁸⁸ D'ailleurs, il ajoute que son objectif était de mettre en évidence la propagation des ondes électromagnétiques, et pas de comprendre tous les détails de son dispositif expérimental. Plusieurs théoriciens, dont le mathématicien et physicien français Henri

⁸⁷ Il y parvient dans le cas de la propagation des ondes dans des fils électriques, mais pas pour leur propagation dans l'air (Atten, Pestre, 2002, 75-79).

⁸⁸ Plus précisément, conscient que le spectre d'émission de son générateur d'ondes était de largeur finie, Hertz avait accordé son résonateur (ou détecteur d'ondes) vers le centre de ce spectre.

Poincaré (1854-1912), titulaire de la Chaire de physique mathématique de la Sorbonne, se penchent sur la question, dès 1890. Cette même année, le cours de la Sorbonne de Poincaré porte sur la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell et, lors d'une séance de ce cours, il présente l'expérience de Hertz et fait au tableau le calcul de la fréquence des ondes émises par le générateur. Mais il ne retrouve pas le résultat de Hertz. Après vérification, Poincaré annonce que Hertz a oublié un facteur multiplicatif $\sqrt{2}$ dans son calcul (Atten, Pestre, 2002, 92). Il publie alors le calcul exact en août 1890. Le problème est qu'avec le facteur multiplicatif correct, la détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques par Hertz devient 300 000 multiplié par $\sqrt{2}$, soit environ 420 000 km/s, ce qui n'a aucun sens et ne correspond plus à la théorie de Maxwell. Les expériences, plus ou moins proches de celles de Hertz, parfois même très éloignées de celle-ci (comme celle de René Blondlot en 1893 ; Atten, Pestre, 2002, 98), se multiplient alors dans cette communauté scientifique, et convergent toutes vers une vitesse de propagation de l'ordre de 300 000 km/s (Atten, Pestre, 2002, 101-110).

En 1892, Hertz est invité à republier tous ses articles sur ce sujet dans un recueil, en y ajoutant une préface. Dans cette préface, Hertz rend hommage à Poincaré pour lui avoir signalé son erreur de calcul, et ajoute un certain nombre d'arguments destinés implicitement à prouver son honnêteté (Atten, Pestre, 2002, 111-112). Il énumère notamment les sources métalliques de perturbation des ondes, susceptibles d'expliquer son erreur de détermination expérimentale de leur vitesse de propagation : le gymnase dans lequel il a effectué ses expériences possède une structure métallique, et il était chauffé par un gros poêle en fonte. Surtout, il insiste sur le fait que la mesure de la vitesse de propagation n'est pas centrale dans ses travaux, et qu'il a avant tout mis en évidence le phénomène de propagation des ondes électromagnétiques, conformément à la théorie de Maxwell, en multipliant les dispositifs expérimentaux analogues à ceux de l'optique, prouvant ainsi que les ondes électromagnétiques et les ondes optiques sont bien de même nature : un miroir, des interférences, des lentilles, un prisme, etc. En 1893, Thomson publie une nouvelle édition du traité d'électromagnétisme de Maxwell, complétée par ses propres travaux, et dans laquelle il inclut un chapitre sur l'expérience de Hertz (Atten, Pestre, 2002, 113-114). Mais il donne de celle-ci une version épurée, sans entrer dans les détails techniques : il ne mentionne ni l'erreur initiale (qu'il a reproduite) d'un facteur $\sqrt{2}$ ni le problème de l'influence de la fréquence propre du détecteur (ou résonateur). De fait, ces aspects appartiennent à l'histoire, et importent peu pour les générations suivantes de physiciens. Thomson retient alors une version quasi-mythique de cet épisode, en écrivant qu'Hertz a découvert les ondes électromagnétiques. Il semble pourtant que, pour être fidèle au déroulé des événements, il aurait plutôt fallu écrire que : Hertz a fabriqué des ondes électromagnétiques,

leur a donné une forme maîtrisable, puis a mis en évidence des phénomènes d'interférences et des ondes stationnaires, et a finalement convaincu sa communauté scientifique en multipliant les expériences similaires à celles de l'optique.⁸⁹

Cet épisode de l'histoire des sciences physiques témoigne du fait qu'une expérience ne parle pas d'elle-même, et dépend presque toujours d'un cadre théorique d'interprétation, seul à même de lui donner du sens. Ce constat n'est d'ailleurs pas nouveau : Pierre Duhem l'avait déjà formulé en 1906 dans son ouvrage *La théorie physique* (Duhem, 1981, 217-248). De plus, un fait expérimental est rarement établi de façon isolée. Pour établir un fait, il faut généralement un ensemble de preuves convergentes. Ce faisceau de preuves, qui renforce une conviction théorique éventuellement déjà présente, est alors susceptible de convaincre un certain nombre de scientifiques de l'existence d'un fait. Ces scientifiques sont ainsi convaincus par ce fait, qui se révélera (ou pas) robuste dans le temps. Cependant, au cours du processus d'établissement d'un fait, ou d'un résultat scientifique, les scientifiques opèrent presque toujours des simplifications ou des approximations. Une expérience ne donne généralement pas un résultat simple, ne délivre quasiment jamais un « fait brut. » Tout le problème, pour un scientifique, est de savoir comment on donne du sens à un résultat expérimental, et finalement comment on convainc sa communauté de considérer à l'avenir ce résultat comme un « fait établi ». Mais une expérience est en général partielle et simplificatrice, et un expérimentateur doit souvent contourner de multiples problèmes pour établir un fait et le faire reconnaître comme tel par ses pairs.

Le second épisode d'histoire des sciences que je souhaite évoquer est l'objet de recherches publiées, notamment dans un article de 1975 (Collins, 1975), par le sociologue des sciences britannique Harry Collins, et concerne la controverse autour de la tentative de détection des ondes gravitationnelles par le physicien états-unien Joseph Weber, dans les années 1960 et 1970. Notons tout de suite une différence fondamentale avec le cas des travaux de Hertz. En astronomie, ou en astrophysique, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des autres branches de la physique, ce n'est pas le physicien qui fabrique (certes en s'inspirant de ses observations de la nature) les phénomènes qu'il étudie. Ici, les ondes gravitationnelles – si elles existent bien – constituent un phénomène indépendant des activités humaines. Je ne m'attarderai pas sur la physique à l'œuvre dans ce cas précis, et me contenterai de rappeler que l'existence des ondes gravitationnelles a été prévue par Albert Einstein en 1916, dans le cadre

⁸⁹ Pour une analyse historique plus précise des diverses expériences de Hertz, on pourra se reporter à (Buchwald, 1994) et (Buchwald, Yeang, Stemeroff, 2021).

de la relativité générale. Le problème de la détection de ces ondes gravitationnelles est qu'il s'agit de détecter un déplacement relatif extrêmement faible de deux ou plusieurs objets au passage d'une onde, ce qui requiert une précision extrême. En effet, le déplacement relatif à mesurer est de l'ordre de 10^{-21} . Pour donner une idée plus concrète de cet ordre de grandeur, cela équivaut à détecter une variation de la distance Terre-Soleil de l'ordre de la taille d'un atome.

Pour revenir au sociologue Harry Collins, son propos général est que nous vivons au milieu de connaissances scientifiques établies, qui nous semblent donc correspondre à des vérités absolues. Il utilise alors une métaphore pour illustrer l'approche des connaissances scientifiques par les historiens et philosophes des sciences d'avant les années 1970 : ils étudient des bateaux à l'intérieur de bouteilles dans un monde où les bateaux sont déjà construits. Ils ne s'intéressent donc pas à la façon dont ces bateaux ont été construits, mais aux bateaux en tant qu'objets réels. Pour Collins, cela revient à juger les connaissances du passé à partir de ce que nous considérons comme la vérité scientifique dans le présent. Pour lui, le moyen le plus efficace de s'affranchir de ce problème est d'observer les sciences en train de se faire, c'est à dire d'étudier les controverses scientifiques en temps réel, avant que le résultat de la résolution de ces controverses ne devienne un environnement familier. Il poursuit alors sa métaphore : les bateaux à l'intérieur des bouteilles sont fabriqués par des humains, et le procédé pour les insérer dans les bouteilles est aussi une activité humaine, que l'on peut suivre en temps réel. Pour cet article de 1975, Collins développe son enquête de sociologue dans treize laboratoires, situés dans plusieurs pays : neuf laboratoires universitaires de physique, un laboratoire universitaire de géophysique, et trois laboratoires industriels.

Le physicien Joseph Weber est le premier à s'intéresser au défi expérimental de la détection des ondes gravitationnelles, dès 1957-1958. Il est même le seul à s'y intéresser jusqu'en 1969, année où il publie ses premiers résultats positifs. Il s'agit d'un article dans lequel il affirme avoir détecté des ondes gravitationnelles, mais dans des proportions tellement importantes qu'elles sont difficilement compatibles avec les théories gravitationnelles de l'époque. Dès la parution de cet article, de nombreux groupes de chercheurs se mettent au travail pour essayer de confirmer ou d'infirmer les observations de Weber. Au moment où le sociologue Collins publie son article, en 1975, la controverse est encore ouverte : il n'y a aucun consensus, dans la communauté scientifique concernée, quant au statut des expériences de Weber. Différents groupes d'expérimentateurs se sentent en concurrence, car ils cherchent tous à être les premiers à être les seconds, ou à démontrer que les observations de Weber sont

inexactes. La première observation de Collins, *a priori* inattendue, est qu'aucune des douze équipes concernées ne cherche à reproduire le même appareil de détection que Weber. Chaque équipe élabore son propre dispositif expérimental de détection. Selon certains scientifiques, interrogés à ce sujet par le sociologue, la raison en est que reproduire exactement le modèle du dispositif de Weber ne leur apporterait rien en termes de prestige : soit ils retrouvent le même résultat que Weber, et c'est lui qui aura le prix Nobel, soit ils infirment son résultat et le dispositif mis au point ne servira à rien. Au contraire, poursuivent ces scientifiques, avec un autre dispositif, ils peuvent devenir les *leaders* du domaine.

Collins propose une autre explication. Selon lui, on ne peut savoir qu'une connaissance expérimentale a été transmise que quand un autre scientifique reproduit des résultats similaires à ceux obtenus auparavant, et que ces résultats sont acceptés par la communauté scientifique concernée. Or, dans le cas de la détection des ondes gravitationnelles, la communauté n'est pas d'accord sur ce qu'est un résultat acceptable, et la notion même de « bon détecteur d'ondes gravitationnelles » est toujours l'objet d'une controverse. Il n'y a donc aucune raison pour les scientifiques de reproduire un dispositif dont ils ne savent même pas s'il est vraiment un détecteur efficace d'ondes gravitationnelles. Plus fondamentalement encore, les scientifiques ne sont même pas d'accord sur les critères pour dire qu'un détecteur est un bon détecteur. Chaque équipe essaie alors de fabriquer un meilleur détecteur que les autres, et Weber lui-même cherche à améliorer son propre dispositif. Plusieurs de ses détecteurs, séparés de plusieurs centaines de kilomètres, mesurent les mêmes perturbations au même moment. Certains scientifiques sont convaincus par cette coïncidence des signaux. D'autres pensent que cela peut être attribué à d'autres artefacts. D'autres améliorations interviennent ensuite dans l'expérience de Weber, mais la controverse demeure.

Au cours de ses entretiens, Collins constate une absence d'accord sur les critères scientifiques de validité d'une expérience de détection d'ondes gravitationnelles. Les interactions entre ces scientifiques s'apparentent ainsi, pour lui, à un véritable processus de négociation sur ce que signifie une expérience valable dans ce domaine. Selon Collins, on assiste en fait au fondement culturel de ce qui sera peut-être plus tard un domaine de recherche intitulé « observation des ondes gravitationnelles. » Dans cette histoire, définir ce qu'est une expérience adéquate – ou acceptable – revient à définir la nature même du phénomène de détection des ondes gravitationnelles. Au moment où paraît l'article de Collins, il n'y a, au sein de la communauté scientifique concernée, aucun consensus sur ce qu'est un résultat attendu, et aucune limite à ce que peut être un résultat non attendu. En quelque sorte, on peut dire que

l'environnement culturel de cette communauté n'est pas encore établi, car le processus de détection des ondes gravitationnelles est encore mal compris. La conclusion que Collins tire de son étude est qu'en 1975, le domaine de la détection des ondes gravitationnelles en est encore au stade de la controverse et de la négociation autour de l'expérience de détection adéquate.

Il se trouve que le dénouement de cette controverse sur la détection des ondes gravitationnelles a eu lieu récemment, avec la publication, en 2016, cent après la prédiction théorique d'Einstein, de la première observation directe consensuelle d'ondes gravitationnelles, survenue le 14 septembre 2015 (Abbott, 2016). Cette observation, à partir d'une technique d'interférométrie laser, fort différente du dispositif de Weber, a valu le prix Nobel de physique 2017 à Rainer Weiss, Barry Barish et Kip Thorne. On peut donc dire que Collins a été bien inspiré en choisissant d'étudier cette controverse, puisqu'il a fallu attendre 41 ans après son article de 1975 pour qu'un consensus soit établi à propos de la détection des ondes gravitationnelles. Mais la controverse consistant à savoir si Weber avait bien détecté des ondes gravitationnelles en 1969 ne s'est jamais vraiment terminée. Depuis, le dispositif mis au point par Weber a acquis une véritable crédibilité scientifique, et est désormais dénommé « barre de Weber. » D'ailleurs, des barres de Weber plus précises ont été construites, mais aucune n'a permis de détecter, de façon consensuelle, des ondes gravitationnelles.

Que peut-on conclure de ces deux études de cas en histoire des sciences physiques à propos de la question initiale : « existe-t-il des faits bruts en physique ? » Tout d'abord, il apparaît clairement que les faits scientifiques ne sont pas bruts. Ils ne s'imposent pas spontanément. Le mode d'établissement des faits a généralement une dimension sociale, ou culturelle, et leur établissement comme « faits » résulte de négociations entre scientifiques. Ensuite, en généralisant ces deux cas particuliers, on peut affirmer que le dissensus est la règle générale de fonctionnement des sciences en train de se faire.⁹⁰ Le consensus à propos d'un fait scientifique n'intervient, la plupart du temps, qu'à la suite de plusieurs années, voire décennies, de controverse. Parfois même, le consensus n'émerge jamais, et la question est finalement abandonnée. Souvent, la controverse est close par la mise en œuvre concrète d'une technologie qui utilise le résultat scientifique encore controversé.

À bien y réfléchir, tout cela n'est pas fondamentalement étonnant. À supposer même que le monde soit régulier et stable, les humains ne peuvent certainement pas l'appréhender

⁹⁰ Le grand public français a pu observer en direct, sur les plateaux de télévision, ce fonctionnement dissensuel des sciences en train de se faire, à l'occasion de la pandémie de Covid-19, de 2020 à 2022.

dans sa vérité nue. Pour reprendre la distinction d'Emmanuel Kant (1724-1804), présentée au paragraphe I.1, entre *noumènes* et *phénomènes*, ou entre *réel en soi* et *réel pour nous*, ce n'est pas le « monde en soi » qui nous est accessible. Ce que nous appelons la réalité ne nous est connu que par la médiation d'acteurs humains, de leurs sens, de leurs instruments scientifiques, et de leurs constructions théoriques ou expérimentales. D'où la possibilité qu'émergent plusieurs propositions scientifiques également légitimes et intéressantes en parallèle. Il est essentiel de garder à l'esprit qu'un « fait scientifique » n'est pas un « fait brut » mais une production humaine. De même, une connaissance scientifique n'est jamais absolue, ni d'extension infinie, mais toujours relative au contexte dans lequel elle est énoncée, même si un noyau dur de cette connaissance peut parfois être transposé d'un contexte à un autre.

Les principes que je viens d'énoncer constituent le cœur de la position philosophique, déjà mentionnée, que l'on désigne comme « relativisme épistémologique », ou parfois « relativisme méthodologique ». Au milieu des années 1990, cette thèse philosophique a donné lieu à des échanges véhéments, parfois même (verbalement) violents entre universitaires. Il s'agit d'un affrontement académique initié aux États-Unis et rapidement repris, modifié et amplifié en France, et qui a souvent été qualifié de « guerre des sciences » par ses protagonistes comme par ses commentateurs. Tout commence en 1994 au sein de la gauche universitaire états-unienne, avec la publication d'un livre polémique, intitulé *Higher Superstition* (Gross, Levitt, 1994), par le biologiste Paul R. Gross (né environ en 1923) et le mathématicien Norman Levitt (1943-2009). Se présentant eux-mêmes comme des universitaires de gauche, ils fustigent une partie de la gauche académique, qui pratique les sciences humaines et sociales, et dont ils estiment qu'elle dénigre les sciences de la nature dans le cadre d'une posture politique. Les principales attaques de Gross et Levitt portent sur des penseurs français emblématiques de la gauche universitaire comme les philosophes Jean Baudrillard (1929-2007), Jacques Derrida (1930-2004) et Michel Foucault (1926-1984), le psychiatre et psychanalyste Jacques Lacan (1901-1981), ou encore le philosophe, anthropologue et sociologue des sciences Bruno Latour, tous accusés de promouvoir l'irrationalisme et le relativisme à propos des résultats des sciences de la nature.

Cette « guerre des sciences » est relancée dans les années 1996 et 1997 par ce qui sera bientôt qualifié d'« affaire Sokal », autour d'un canular scientifique, puis de la publication d'un nouveau livre polémique (Sokal, Bricmont, 1997) par le physicien états-unien Alan Sokal (né en 1955) et le physicien belge Jean Bricmont (né en 1952). La nouvelle controverse est initiée par un canular publié en 1996 par Sokal dans la revue états-unienne interdisciplinaire de

sciences sociales *Social Text*. L'article-canular soumis à la revue, intitulé « Transgresser les frontières : vers une herméneutique transformative de la gravitation quantique » (Sokal, 1996), est, selon son propre auteur, « bourré d'absurdités et d'illogismes flagrants » (Sokal, Bricmont, 1997, 12), mais il est accepté et publié. Sokal dévoile alors immédiatement qu'il s'agit d'un canular, et explique que son intention était de mettre en évidence ce que son collègue Jean Bricmont et lui considèrent comme une évolution intellectuelle récente des milieux universitaires états-uniens et français, dans « de vastes secteurs des études littéraires et des sciences humaines » (*ibid.*, 11) : « l'abus réitéré de concepts et de termes provenant des sciences physico-mathématiques » par des chercheurs en sciences humaines qui n'ont, « au mieux, qu'une très vague idée » de ces concepts et de ces termes (*ibid.*, 14). Un an plus tard, en 1997, Sokal et Bricmont publient aux éditions Odile Jacob un livre intitulé *Impostures intellectuelles* (Sokal, Bricmont, 1997), qui entend approfondir l'attaque initiale de Sokal, et dénonce ces pratiques de transfert de notions des sciences physiques vers les sciences humaines et sociales, en s'en prenant tout particulièrement à huit chercheurs français : Jacques Lacan, la philologue et psychanalyste française, d'origine bulgare, Julia Kristeva (née en 1941), la linguiste, philosophe et psychanalyste française, d'origine belge, Luce Irigaray (née en 1930), Jean Baudrillard, le psychanalyste et philosophe français Félix Guattari (1930-1992), l'urbaniste et essayiste français Paul Virilio (1932-2018), ainsi que Bruno Latour et le philosophe français Gilles Deleuze (1925-1995). À la lecture de cette liste, on voit bien que la psychanalyse est l'une des cibles privilégiées de ce livre. Mais ce n'est pas la seule discipline placée ainsi sur le banc des accusés. C'est aussi le cas du courant alors important d'histoire et de sociologie des sciences, souvent désigné par l'expression anglaise *Science studies*, sur lequel je me suis penché ci-dessus, et dont l'un des représentants français les plus connus à l'époque est précisément Bruno Latour.

Cette « guerre des sciences », amplifiée par le livre de Sokal et Bricmont, ne se réduit néanmoins pas à un affrontement disciplinaire entre représentants des sciences de la nature et défenseurs des sciences humaines et sociales. En effet, dans le camp des deux physiciens, on trouve aussi, par exemple, le sociologue français Pierre Bourdieu (Bourdieu, 2001) ou le philosophe français Jacques Bouveresse (1940-2021 ; Bouveresse, 1999). Et, pour prendre la défense des chercheurs en sciences humaines et sociales pris à parti par les deux physiciens, on compte notamment le physicien français Jean-Marc Lévy-Leblond et le physicien états-unien David Mermin (né en 1935, professeur à l'université Cornell). Par ailleurs, un certain nombre de chercheurs en physique, en histoire des sciences, en économie, en sociologie, en psychologie, en philosophie ou encore en *Science studies*, mènent une contre-offensive,

notamment en publiant en 1998 un ouvrage collectif intitulé *Impostures scientifiques. Les malentendus de l'affaire Sokal* (Jurdant, 1998). Des mots en « isme » ont alors souvent servi d'anathèmes prétendant délégitimer le camp adverse, les accusations de « rationalisme » ou de « scientisme » ayant répondu à celles de « relativisme » et de « post-modernisme. »

Malgré les critiques virulentes émises par un certain nombre de chercheurs impliqués dans cette controverse, le relativisme épistémologique n'est aucunement un relativisme « absolu ». L'idée du relativisme épistémologique n'est évidemment pas de dire que « tout se vaut »,⁹¹ ni que n'importe quel énoncé scientifique peut être accepté comme légitime, et encore moins que l'interaction avec le monde extérieur n'a aucune importance dans l'établissement d'une connaissance scientifique. Une telle position philosophique serait quelque peu ridicule, et pour tout dire indéfendable. Mais, notamment à l'occasion de cette guerre des sciences, le terme « relativisme » est devenu tellement sulfureux que certains chercheurs qui adhèrent pourtant indubitablement à la thèse du relativisme épistémologique s'en défendent parfois explicitement. C'est par exemple le cas de l'historien des sciences Dominique Pestre (Pestre, 2006), qui écrit en 2012 : « Les preuves produites par les sciences ne peuvent donc être absolues ou "objectives", elles reposent sur des simplifications et des partis pris de départ, elles sont partielles et partiales – même si elles offrent des résultats utiles, efficaces et intéressants. La science parle donc rarement d'une seule voix et les avis experts sont en général multiples. Bien évidemment, cet énoncé ne doit pas être compris comme une proposition "relativiste" – il vise plutôt à dire la nature humaine et sociale de toute production de savoir, et à en tirer les conséquences » (Pestre, 2012, 4).

C'est pourquoi j'ai souhaité, dans mon article de 2023 (Bertrand, 2023c), désamorcer la charge, parfois injustement considérée comme hautement polémique, du relativisme épistémologique. Cette thèse philosophique consiste simplement à affirmer que les connaissances scientifiques sont relatives – à une société, à une époque – par opposition à d'hypothétiques connaissances absolues. Cette idée peut même être considérée comme extrêmement banale pour tout historien des sciences, bien conscient que les connaissances scientifiques d'hier ne sont généralement pas celles d'aujourd'hui. Cela dit, il est également manifeste qu'il existe un noyau de connaissances qui peut passer d'une société à une autre et

⁹¹ Cette expression vient de l'anglais « *anything goes* », et est due au philosophe des sciences états-unien d'origine autrichienne Paul Feyerabend (1924-1994), dans son ouvrage en anglais de 1975, traduit sous le titre *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance* (Feyerabend, 1979). Mais Feyerabend écrivait cela à propos des méthodes permettant d'aboutir à des connaissances, et défendait à cette occasion le pluralisme méthodologique. Une traduction moins littérale et plus fidèle à sa pensée serait donc, selon nous : « toute méthode est bonne » – sous-entendu – pour produire une connaissance.

d'une époque à une autre, quitte à être formulé différemment selon les contextes, et avec des limitations appropriées (Darrigol, 2015). Surtout, aucune connaissance scientifique ne correspond à la seule vérité possible sur le monde (en soi), dans la mesure où l'essence du monde (en soi) est inatteignable pour des humains, si l'on adhère (ce qui est mon cas) à la position kantienne sur cette question. De ce fait, les connaissances scientifiques sont toujours partielles et situées. Insistons néanmoins à nouveau sur le point crucial : cela n'implique pas que, dans les sciences de la nature, tout peut se dire. Les connaissances scientifiques ne sont en aucun cas arbitraires. À chaque époque, les scientifiques disposent de multiples critères pour juger de ces connaissances. Citons, par exemple la cohérence avec un cadre théorique établi et consensuel, la reproductibilité expérimentale d'un lien de cause à effet, ou d'une corrélation entre deux variables observables, ou encore l'efficacité instrumentale pour agir sur le monde extérieur. Ces critères sont constamment – explicitement ou implicitement – discutés, ou affinés, au sein d'une communauté scientifique donnée, en fonction des lieux et des époques, mais il existe toujours de tels critères, qui permettent de faire le tri parmi les connaissances scientifiques putatives. Ces critères de validité permettent donc de rejeter certaines propositions scientifiques comme fausses et d'en valider d'autres comme vraies.

Il n'y a donc évidemment, de mon point de vue, aucune objection à considérer certaines connaissances scientifiques comme vraies, qu'il s'agisse de résultats expérimentaux ou de propositions théoriques. Il est important d'y insister, encore aujourd'hui : l'histoire des sciences ne nous enjoint aucunement à rejeter le concept de vérité scientifique, mais uniquement à prendre conscience du fait que la vérité scientifique est un concept non-trivial, difficile à circonscrire, et qu'il ne se rapporte vraisemblablement qu'à des parties du *réel pour nous*. Selon moi, une vérité scientifique ne permet certainement pas de caractériser le *réel en soi*, et la vérité « absolue » est probablement destinée à demeurer au-delà de notre appréhension humaine (Bertrand, 2023c). *In fine*, la thèse du relativisme épistémologique se pose, pour moi, comme une alternative convaincante à celle du réalisme physique. Elle correspond à ma conviction métaphysique profonde, même si la thèse correspondante me semble intrinsèquement indémontrable.

Conclusion. Articuler l'individuel et le collectif

*Me voilà orphelin des dieux.
Me voilà là, fils de la Terre.
Moi qui n'ai jamais su aimer,
Je crois, rien d'autre que mon frère.*

(Damien Saez, « Notre-Dame mélancolie », in Damien Saez, *Lulu. En bords de Seine*, 2017)

L'exercice de la recherche est toujours vanté, dans la plupart des écrits académiques ou des discours de politique des sciences, comme une activité sociale structurellement collective. Cependant, le fonctionnement actuel de l'enseignement supérieur et de la recherche pousse à toujours plus d'individualisme. La course perpétuelle aux publications et aux financements de projets de recherche incite le chercheur contemporain à entrer dans une compétition sans fin avec ses collègues. Le recrutement, puis les diverses promotions tout au long de la carrière, engagent une concurrence indéfinie pour savoir qui aura le plus de publications, de brevets, de projets ANR (Agence nationale de la recherche), de projets européens, ou encore de contrats avec le secteur industriel. Ayant travaillé le même nombre d'années (treize) dans chacun des deux secteurs correspondants, il me semble que la tendance à l'individualisme est encore plus prononcée dans les sciences humaines et sociales que dans les sciences de la nature. En effet, en particulier dans les sciences de la nature expérimentales, quelles que soient ses inclinaisons spontanées, le chercheur est bien obligé de collaborer avec ses collègues, tant la réussite d'une expérience scientifique nécessite des compétences variées et complémentaires, et généralement plus de deux bras d'expérimentateurs. En outre, même si un chercheur excelle dans l'obtention de contrats de recherche, il a généralement besoin des instruments et des infrastructures de recherche gérés par d'autres chercheurs. En revanche, en sciences humaines et sociales, il est indéniable que certains individus peuvent se permettre de mener leur activité professionnelle quasiment en autarcie. Pour dépouiller des archives, mener des entretiens, écrire des articles ou des livres, un chercheur en sciences humaines et sociales peut, à la limite, si tel est son désir, se passer de quasiment de toute interaction avec ses collègues. Nous connaissons tous des chercheurs qui ne participent jamais à aucun projet collectif, à aucun séminaire, ou n'assument jamais aucune tâche collective. Une telle attitude est encore plus envisageable lorsqu'il s'agit d'un chercheur à proprement parler, et non d'un enseignant-chercheur. Un maître de conférences ou un professeur des universités est bien obligé, au minimum, de fréquenter des étudiants et des enseignants intervenant dans les mêmes formations que lui.

De mon côté, certainement autant par goût que par principe, j'ai toujours cherché à inscrire mes recherches dans des collectifs, et à multiplier les discussions et les échanges avec des collègues issus d'horizons disciplinaires les plus divers possible et développant une grande variété d'options théoriques ou méthodologiques, autant que faire se peut. Il m'a toujours semblé que cette richesse intellectuelle était indispensable pour ne pas scléroser sa pensée et s'enfermer dans des certitudes illusoires.

De même, l'activité de chercheur me paraît indissociable des tâches d'administration de la recherche ou de politique scientifique, et la possibilité de mener des recherches, même avec une attitude individualiste, repose toujours, en dernière analyse, sur le travail d'animation collective assuré par certains membres d'une communauté scientifique donnée. Je ne prétends pas être plus altruiste que la moyenne de mes collègues, mais, ayant toujours apprécié la grande diversité des aspects du métier d'enseignant-chercheur, j'ai aussi assumé, tout au long de ma carrière, un grand nombre de responsabilités collectives – pédagogiques, éditoriales, administratives ou d'évaluation. Ainsi, alors que j'étais enseignant-chercheur en physique, j'ai siégé, de 2004 à 2008, en tant que membre élu du Comité National de la Recherche Scientifique (CoNRS), comme secrétaire scientifique de la section 11 du CoNRS, intitulée « Systèmes supra et macromoléculaires : propriétés, fonctions, ingénierie », et rattachée à la fois au département de physique du CNRS et à celui de chimie. Il s'agissait à la fois d'évaluer, de façon collégiale, les chercheurs et les unités de recherche relevant de la section 11, et de participer au jury de concours de recrutement des chargés de recherche et des directeurs de recherche (ce second cas relevant la plupart du temps de promotions plutôt que d'authentiques recrutements). Dès cette époque, et même si la situation a empiré depuis, le nombre de postes ouverts au recrutement comme chargé de recherche au CNRS était très limité en comparaison de la taille du vivier de candidats susceptibles d'y postuler. Il m'a donc toujours semblé essentiel d'assumer cette tâche avec une rigueur et une honnêteté sans faille, afin d'éviter de faire subir aux nombreux jeunes chercheurs précaires des injustices ou autres dénis de leurs mérites respectifs. Bien entendu, il y avait déjà, et il y a plus encore aujourd'hui, des candidats qui mériteraient sans aucun doute d'obtenir un poste de chercheur statutaire et n'en obtiendraient finalement pas. Mais il est indispensable de tout mettre en œuvre pour que des candidats moins méritants ne prennent pas leur place. Le mode de fonctionnement du Comité National n'est évidemment pas parfait, mais il me semble assez bien conçu pour favoriser la promotion de jeunes chercheurs talentueux, et sa vocation de recrutement à l'échelle nationale permet d'éviter les écueils que l'on rencontre parfois à l'échelon local, et que l'on qualifie pudiquement de « localisme. »

Depuis janvier 2022, je siège à nouveau au Comité National, pour un mandat de cinq ans, mais cette fois-ci comme membre nommé de la Commission interdisciplinaire (CID) 53, intitulée « Sciences en société : production, circulation et usages des savoirs et des technologies », et qui relève de l'Institut national des sciences humaines et sociales du CNRS. Dans un autre registre, de 2008 à 2012, j'ai siégé comme membre élu du Conseil Scientifique de l'Université Paris VI. En outre, j'ai été membre élu du Conseil de Laboratoire de toutes les Unités mixtes de recherche (UMR) auxquelles j'ai été rattaché, depuis 2005.

En ce qui concerne les activités collectives de recherche, je suis, depuis 2017, co-organisateur du séminaire de recherche bimensuel « Histoire des sciences humaines et sociales » de l'EHESS, avec mes collègues Jacqueline Carroy, Wolf Feuerhahn, Serge Reubi et Nathalie Richard. De plus, en lien étroit avec l'équipe de direction du Centre, j'ai mis en place, en 2014, les Débats du Centre Alexandre-Koyré, dont j'assure conjointement, depuis, la coordination, au sein d'une équipe de programmation dédiée. Il s'agit d'un événement mensuel, au cours duquel une chercheuse ou un chercheur en histoire, sociologie ou philosophie des sciences ou des techniques présente son dernier ouvrage et débat à son propos avec deux discutants privilégiés et avec l'ensemble de l'auditoire. Cet événement mensuel du Centre Alexandre-Koyré – désormais pérenne – est essentiel, à la fois pour la cohésion du personnel du Centre et pour son rayonnement dans le paysage intellectuel parisien. Afin de favoriser un renouvellement des options intellectuelles des membres de cette équipe de programmation, et dans la mesure où cela fait presque dix ans que j'en fais partie, j'ai décidé de laisser ma place à une ou un collègue dès la prochaine réunion de l'équipe. Je suis également membre du Conseil d'administration de la Société Française pour l'Histoire des Sciences de l'Homme (SFHSH).

Du point de vue des activités éditoriales, je suis, depuis 2018, membre du Comité de rédaction de la *Revue d'Histoire des Sciences Humaines* (RHSH), revue à comité de lecture, et en accès libre sur la plateforme numérique *OpenEdition*. En effet, après plusieurs articles soumis, acceptés, puis publiés dans cette revue, de 2016 à 2018, il m'a été proposé en 2018 de rejoindre son comité de rédaction. J'ai immédiatement accepté, dans la mesure où les thématiques abordées par la revue sont connexes à mes propres objets de recherche, et où la RHSH, dirigée bénévolement par Wolf Feuerhahn et Olivier Orain, dispose d'un système très rigoureux d'évaluation par les pairs en double aveugle, avec trois évaluateurs (dont deux extérieurs au comité de rédaction) pour chaque article soumis.

Enfin, du côté du volet pédagogique de mes activités, je suis également membre, depuis 2014, des Conseils pédagogiques d'une formation de master en histoire des sciences et d'une formation doctorale en histoire et sociologie des sciences, au sein de l'école doctorale de l'EHESS. Surtout, comme je l'ai expliqué au paragraphe III.2, en tandem avec ma collègue historienne des sciences Charlotte Bigg, j'ai dirigé, de janvier 2018 à janvier 2020, la formation d'histoire des sciences du Master en sciences humaines et sociales de l'EHESS. Cette tâche d'intérêt collectif, particulièrement chronophage, m'a néanmoins apporté de nombreuses satisfactions, qu'il s'agisse des réflexions menées à propos de l'évolution de l'offre pédagogique en histoire des sciences ou du sentiment d'être profondément utile à de nombreux étudiants. D'ailleurs, il me semble important de préciser que, même si c'est sans doute la partie du métier d'enseignant-chercheur la moins valorisée dans les carrières académiques et pour les promotions, la fonction d'enseignant est certainement celle qui est pour moi la plus gratifiante, celle où je me sens le plus utile socialement. Outre qu'elle est intrinsèquement collective, cette fonction de transmission est exigeante et passionnante : comment ne pas être heureux, voire fier, lorsque l'on sort d'un cours en ayant l'impression que l'on a fait comprendre à des étudiants des notions, des pensées, à côté desquelles ils seraient peut-être passés si nous n'avions pas été là ?

Finalement, diriger des recherches, et en particulier des recherches doctorales, pour moi, c'est se situer à l'interface entre la recherche et l'enseignement, et c'est surtout contribuer, certes à une toute petite échelle, à accroître l'intelligence collective d'une société, et à articuler concrètement, au quotidien, l'individuel et le collectif.

Bibliographie

- Abbott, Benjamin P. *et al.*, 2016, “Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger”, *Physical Review Letters*, 116, 061102.
- Aspect, Alain, 2017, « Intrication quantique. Le débat Bohr-Einstein tranché par l’expérience », *Pour la science*, 481, 30-33.
- Assouline, Pierre, 2006, *Gaston Gallimard. Un demi-siècle d’édition française*, Paris, Gallimard.
- Atten, Michel ; Pestre, Dominique, 2002, *Heinrich Hertz. L’administration de la preuve*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Aubin, David, 1998, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos: Around the Institut des Hautes Études Scientifiques, France 1958- 1980*, PhD thesis, Princeton University.
- Audier, Serge, 2012, *Néo- Libéralisme(s). Une Archéologie Intellectuelle*, Paris, Grasset.
- Azzam, Rasheed M.A. ; Bashara, Nicholas M., 1977, *Ellipsometry and polarized light*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company.
- Balescu, Radu, 2006, *Ilya Prigogine, sa vie, son œuvre*, Bruxelles, Académie royale de Belgique.
- Baudry, Jean ; Rouzeau, Catherine ; Goubault, Cécile ; Robic, Caroline ; Cohen-Tannoudji, Laetitia ; Koenig, Anne ; Bertrand, Emanuel ; Bibette, Jérôme, 2006, “Acceleration of the recognition rate between grafted ligands and receptors with magnetic forces”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 16076.
- Beck, Ulrich, [1986] 2008, *La société du risque. Sur la voie d’une autre modernité*, Paris, Flammarion.
- Bensaude-Vincent, Bernadette, 2001, “The construction of a discipline: materials science in the United States”, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 31, 223-248.
- Bensaude-Vincent, Bernadette ; Boudia, Soraya ; Sato, Kyoko (dir.), 2022, *Living in a Nuclear World: From Fukushima to Hiroshima*, Londres-New York, Routledge ; accessible librement à l’adresse suivante (consultée pour la dernière fois le 29 mars 2023) : www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.4324/9781003227472/living-nuclear-world-bernadette-bensaude-vincent-soraya-boudia-kyoko-sato.
- Bernal, John Desmond, 1939, *The Social Function of Science*, Londres, Routledge & Sons Limited.
- Bertrand, Emanuel, 2000, *Transitions de mouillage des alcanes sur l’eau : rôle des interactions entre interfaces*, Thèse de doctorat de l’Université Pierre et Marie Curie – Paris VI.

- Bertrand, Emanuel, 2003, *Transitions de mouillage : rôle des interactions entre interfaces*, Paris, Éditions Publibook Université.
- Bertrand, Emanuel, 2007, *Interactions entre surfaces : Lifshitz et Helfrich avaient-ils déjà tout dit ?*, Habilitation à diriger des recherches de l'Université Pierre et Marie Curie – Paris VI.
- Bertrand, Emanuel, 2010, *Biographie du PIRMAT (1982-1994). Les difficultés pour mettre en œuvre un Programme interdisciplinaire de recherche sur les matériaux au CNRS*, Mémoire de master en sciences sociales de l'EHESS, Paris.
- Bertrand, Emanuel, 2012a, « Biographie du Pirmat (1982-1994). Une illustration de l'ambiguïté entre pluridisciplinarité et interdisciplinarité au CNRS », *Histoire de la recherche contemporaine*, 1, 84-93.
- Bertrand, Emanuel, 2012b, « Pétrole, OGM, nanotechnologies : quels enjeux démocratiques ? », *Participations*, 2012/3, 233-246.
- Bertrand, Emanuel, 2014, "The discursive regime of European participative governance and the neoliberal ideology", *Midwest Political Science Association's 72nd annual conference*, April 2014, Chicago, United States. HAL SHS – 01048571 ; accessible en ligne à l'adresse : halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01048571.
- Bertrand, Emanuel, 2015, « Le discours de la gouvernance participative européenne et l'idéologie néolibérale. Une analyse sémantique à la lumière des travaux de Marcel Gauchet sur le néolibéralisme ». HAL SHS – 01140205 ; accessible en ligne à l'adresse : halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01140205.
- Bertrand, Emanuel, 2016a, « Un discours européen de la gouvernance participative : le Livre blanc de 2001 », *Encyclopédie pour une histoire nouvelle de l'Europe* [en ligne] ; accessible à l'adresse : <https://ehne.fr/fr/node/12261>.
- Bertrand, Emanuel, 2016b, « L'enseignement secondaire en France et l'articulation complexe entre disciplines littéraires et scientifiques (1945-1985) », *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 28, 289-293.
- Bertrand, Emanuel, 2016c, « Les politiques publiques mises en œuvre au nom de la biodiversité sont-elles irrémédiablement néolibérales ? », *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 29, 329-334.
- Bertrand, Emanuel, 2017, « La Nouvelle Alliance d'I. Prigogine et I. Stengers (1979) : mise en récit apologétique de la thermodynamique ou dialogue singulier entre un physicien et une philosophe ? », *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 30, 173-204.
- Bertrand, Emanuel, 2018, « Plusieurs siècles de fabrique des chaires au Collège de France », *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 33, 321-326.

- Bertrand, Emanuel, 2021, « Alexandre Koyré, sa veuve et son éditeur (1946-1976). Une politique d'auteur », *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 38, 189-199.
- Bertrand, Emanuel, 2022, « L'histoire des sciences au sens large chez Gallimard : une ambiguïté irréductible entre "sciences" et "sciences humaines" », in Bertrand, E. ; Feuerhahn, W. ; Tesnière, V. (dir.), *Éditer l'histoire des sciences (France, XX^e siècle). Entre sciences et sciences humaines*, Villeurbanne, Presses de l'ENSSIB, 19-54.
- Bertrand, Emanuel, 2023a, *Extension du domaine de la thermodynamique. Anatomie d'une controverse*, Paris, Classiques Garnier.
- Bertrand, Emanuel, 2023b, "A controversy about chance and the origins of life: thermodynamicist Ilya Prigogine replies to molecular biologist Jacques Monod", *History and Philosophy of the Life Sciences*, 45:21, 1-23.
- Bertrand, Emanuel, 2023c, « Existe-t-il des faits bruts en physique ? Plaidoyer pour le relativisme épistémologique à partir d'études de cas en histoire des sciences », *Alliage : culture, science, technique*, 83, à paraître.
- Bertrand, Emanuel, 2024, « L'interdisciplinarité au CNRS de 1975 à 1997 : entre promotion discursive et obstacles institutionnels », in Feuerhahn, W. ; Mandressi, R. (dir.), *L'interdisciplinarité, une histoire*, Paris, Éditions de la Sorbonne, à paraître.
- Bertrand, Emanuel ; Bensaude-Vincent, Bernadette, 2011, "Materials Research in France: A Short-lived National Initiative (1982-1994)", *Minerva*, 49, 191-214.
- Bertrand, Emanuel ; Bibette, Jérôme ; Schmitt, Véronique, 2002, "From shear thickening to shear-induced jamming", *Physical Review E*, 66, 060401(R).
- Bertrand, Emanuel ; Dobbs, Harvey ; Broseta, Daniel ; Indekeu, Joseph ; Bonn, Daniel; Meunier, Jacques, 2000, "First-order and critical wetting of alkanes on water", *Physical Review Letters*, 85, 1282-1285.
- Bertrand, Emanuel ; Feuerhahn, Wolf (dir.), 2023a, *Arpenter l'histoire des sciences. Témoignages de chercheurs français contemporains*, Strasbourg, Presses Universitaires de Strasbourg.
- Bertrand, Emanuel ; Feuerhahn, Wolf, 2023b, « Extension, expansion et débats : douze regards sur 60 ans d'histoire des sciences à l'âge de la *big science* et des nouvelles technologies », in Bertrand, E. ; Feuerhahn, W. (dir.), *Arpenter l'histoire des sciences. Témoignages de chercheurs français contemporains*, Strasbourg, Presses Universitaires de Strasbourg.
- Bertrand, Emanuel ; Feuerhahn, Wolf, 2023c, « Postface. L'histoire des sciences, une auberge espagnole ? », in Bertrand, E. ; Feuerhahn, W. (dir.), *Arpenter l'histoire des sciences. Témoignages de chercheurs français contemporains*, Strasbourg, Presses Universitaires de Strasbourg.

- Bertrand, Emanuel ; Feuerhahn, Wolf ; Tesnière, Valérie (dir.), 2022a, *Éditer l'histoire des sciences (France, XX^e siècle). Entre sciences et sciences humaines*, Villeurbanne, Presses de l'ENSSIB.
- Bertrand, Emanuel ; Feuerhahn, Wolf ; Tesnière, Valérie, 2022b, « Avant-propos. L'histoire des sciences publiée : un révélateur du partage éditorial des savoirs », in Bertrand, E. ; Feuerhahn, W. ; Tesnière, V. (dir.), *Éditer l'histoire des sciences (France, XX^e siècle). Entre sciences et sciences humaines*, Villeurbanne, Presses de l'ENSSIB, 9-18.
- Biagioli, Mario, 1993, *Galileo Courtier, the Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago, Chicago University Press.
- Bitbol, Michel, 1997, « Les questions du réalisme », in Bitbol, M. ; Laugier, S. (dir.), *Physique et réalité. Un débat avec Bernard d'Espagnat*, Paris, Éditions Frontières et Diderot éditeur, Arts et Sciences, 3-33.
- Bitbol, Michel ; Laugier, Sandra (dir.), 1997, *Physique et réalité. Un débat avec Bernard d'Espagnat*, Paris, Éditions Frontières et Diderot éditeur, Arts et Sciences.
- Bloor, David, [1976] 1991, *Knowledge and Social Imagery*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Bloor, David, 1999, “Anti-Latour”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 30, 81-112.
- Boltzmann, Ludwig, 1877, „Über die Beziehung dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht“, *Wiener Berichte*, 76, 373-435.
- Boltzmann, Ludwig, [1905] 1987, *Voyage d'un professeur allemand en Eldorado et autres « écrits populaires »*, Arles, Actes Sud.
- Bonn, Daniel, 1993, “Wetting, prewetting and layering in binary liquid mixtures”, *Academisch Proefschrift (PhD)*, Universiteit van Amsterdam.
- Bourdieu, Pierre, 2001, *Science de la science et réflexivité*, Paris, Raisons d'agir.
- Bouveresse, Jacques, 1999, *Prodiges et vertiges de l'analogie*, Paris, Raisons d'agir.
- Braunstein, Jean-François (dir.), 2008, *L'histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses*, Paris, Vrin.
- Buchwald, Jed, 1994, *The Creation of Scientific Effects: Heinrich Hertz and Electric Waves*, Chicago-London, The University of Chicago Press.
- Buchwald, Jed ; Yeang, Chen-Pang ; Stemmeroff, Noah ; Barton, Jenifer ; Harrington, Quinn, 2021, “What Heinrich Hertz discovered about electric waves in 1887–1888”, *Archive for History of Exact Sciences*, 75, 125-171.
- Cahn, John W., 1977, “Critical point wetting”, *Journal of Chemical Physics*, 66, 3667-3672.

- Callon, Michel ; Lascoumes, Pierre ; Barthe, Yannick, 2001, *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris, Le Seuil.
- Callon, Michel ; Latour, Bruno (dir.), [1982] 1991, *La science telle qu'elle se fait. Anthologie de la sociologie des sciences de langue anglaise*, Paris, La Découverte.
- Carnot, Sadi, 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris, Bachelier.
- Cassirer, Ernst, 1910, *Substanzbegriff und Funktionsbegriff: Untersuchungen über die Grundfragen der Erkenntniskritik*, Berlin, Bruno Cassirer.
- Cassirer, Ernst, 1977, *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept*, Paris, Les Éditions de Minuit.
- Cerisier, Alban, 2011, *Gallimard. Un éditeur à l'œuvre*, Paris, Gallimard.
- Clausius, Rudolf, 1865, „Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie“, *Annalen der Physik und Chemie*, 125, 353-400.
- Clausius, Rudolf, 1868, *Théorie mécanique de la chaleur*, Paris, Lacroix.
- Cohen-Tannoudji, Laetitia, 2006, *Cinétique de réactions ligand-récepteur en surface - étude fondée sur l'utilisation de colloïdes magnétiques*, Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie – Paris VI.
- Cohen-Tannoudji, Laetitia ; Bertrand, Emanuel ; Bressy, Lydie *et al.*, 2005, “Polymer bridging probed by magnetic colloids”, *Physical Review Letters*, 94, 038301.
- Cohen-Tannoudji, Laetitia ; Bertrand, Emanuel ; Baudry, Jean *et al.*, 2008, “Measuring the kinetics of biorecognition with magnetic colloids”, *Physical Review Letters*, 100, 108301.
- Collectif, 2011, *Catalogue Gallimard 1911-2011*, Paris, Gallimard.
- Collectif, 2013, « Disciplines, instituts et interdisciplinarité au CNRS », *Hermès, La Revue*, 2013/3 (n° 67), 188-191.
- Collins, Harry, 1974, “The TEA Set: Tacit Knowledge and Scientific Networks”, *Science Studies*, 4, 165-186.
- Collins, Harry, 1975, “The Seven Sexes: A Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replication of Experiments in Physics”, *Sociology*, 9, 205-224.
- Collins, Harry, 1981, “Stages in the Empirical Programme of Relativism”, *Social Studies of Science*, 11, 3-10.
- Collins, Harry ; Evans, Robert, 2002, “The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience”, *Social Studies of Science*, 32, 235–296.
- Commission des Communautés européennes, 2001, *Gouvernance européenne. Un livre blanc*, Bruxelles.

- Dahan, Amy ; Pestre, Dominique (dir.), 2004, *Les sciences pour la guerre*, Paris, Éditions de l'EHESS.
- Dardot, Pierre ; Laval, Christian, 2009, *La Nouvelle Raison Du Monde. Essai Sur La Société Néolibérale*, Paris, La Découverte.
- Darrigol, Olivier, 2015, "Why some physical theories should never die", *Évora studies in the philosophy and history of science. In memoriam Hermínio Martins*, 319-368.
- Darrigol, Olivier, 2018, *Atoms, mechanics, and probability. Ludwig Boltzmann's Statistico-Mechanical Writings – An Exegesis*, Oxford, Oxford University Press.
- Darrigol, Olivier, 2021, "Boltzmann's reply to the Loschmidt paradox: a commented translation", *The European Physical Journal H*, 46, 29: 1-18.
- Diu, Bernard ; Guthmann, Claudine ; Lederer, Danielle ; Roulet, Bernard, 1989, *Éléments de physique statistique*, Paris, Hermann.
- Drude, Paul, 1887, „Ueber die Gesetze der Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze absorbirender Krystalle“, *Annalen der Physik*, 268, 584-625.
- Duhem, Pierre, [1906] 1981, *La théorie physique. Son objet, sa structure*, Paris, Vrin.
- Duhem, Pierre, 1911, *Traité d'énergétique ou de thermodynamique générale*, Paris, Gauthier-Villars.
- Ehrenfest, Paul, 1933, „Phasenumwandlungen im ueblichen und erweiterten Sinn, classifiziert nach den entsprechenden Singularitaeten des thermodynamischen Potentials“, *Proceedings of the Royal Academy of Amsterdam*, 36, 153-157.
- Espagnat, Bernard (d'), 1965, *Conceptions de la physique contemporaine. Les interprétations de la mécanique quantique et de la mesure*, Paris, Hermann.
- Espagnat, Bernard (d'), [1979] 1981, *À la recherche du réel. Le regard d'un physicien*, Paris, Gauthier-Villars.
- Espagnat, Bernard (d'), 1982, *Un Atome de sagesse. Propos d'un physicien sur le réel voilé...*, Paris, Le Seuil.
- Espagnat, Bernard (d'), 1985, *Une incertaine réalité. Le monde quantique, la connaissance et la durée*, Paris, Gauthier-Villars.
- Espagnat, Bernard (d') ; Zwirn, Hervé (dir.), 2014, *Le monde quantique. Les débats philosophiques de la physique quantique*, Paris, Éditions Matériologiques.
- Fannin, Paul ; Cohen-Tannoudji, Laetitia ; Bertrand, Emanuel *et al.*, 2006, "Investigation of the complex susceptibility of magnetic beads containing maghemite nanoparticles", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 303, 147-152.

- Farley, John ; Geison, Gerald, 1974, “Science, Politics, and Spontaneous Generation in Nineteenth-Century France: The Pasteur-Pouchet Debate”, *Bulletin of the History of Medicine*, 48, 161-198.
- Feuerhahn, Wolf (dir.), 2017, *La politique des chaires au Collège de France*, Paris, Collège de France/Belles Lettres.
- Feuerhahn, Wolf, 2022, *Nommer, organiser, hiérarchiser les sciences et les savoirs. Volume I. Mémoire de synthèse : l'historien des sciences, arroseur arrosé. Ego-mémoires*, Habilitation à diriger des recherches de l'École normale supérieure – Université PSL.
- Feuerhahn, Wolf ; Mandressi, Rafael (dir.), 2024, *L'interdisciplinarité, une histoire*, Paris, Éditions de la Sorbonne, à paraître.
- Feuerhahn, Wolf ; Tesnière, Valérie, 2022, « De l'Histoire de la science à l'Histoire des sciences et des savoirs : l'émergence d'un genre éditorial ? », in Bertrand, E. ; Feuerhahn, W. ; Tesnière, V. (dir.), *Éditer l'histoire des sciences (France, XX^e siècle). Entre sciences et sciences humaines*, Villeurbanne, Presses de l'ENSSIB, 119-150.
- Feyerabend, Paul, [1975] 1979, *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Paris, Le Seuil.
- Fleck, Ludwik, [1935] 2008, *Genèse et développement d'un fait scientifique*, Paris, Flammarion.
- Forman, Paul, 1971, “Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-1927; Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment”, *Historical Studies in Physical Sciences*, 3, 1-115.
- Foucault, Michel, 1966, *Les Mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*, Paris, Gallimard.
- Foucault, Michel, 1975, *Surveiller et Punir. Naissance de la prison*, Paris, Gallimard.
- Foucault, Michel, 2004, *Naissance de La Biopolitique. Cours Au Collège de France. 1978-1979*, Paris, Le Seuil/Gallimard.
- Freedman, Michael, 1996, *Ideologies and Political Theory: A Conceptual Approach*, Oxford, Clarendon Press.
- Galison, Peter, 2003, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*, New York, W.W. Norton & Co.
- Galison, Peter, 2006, *L'empire du temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*, Paris, Gallimard.
- Galison, Peter, 2024, « Guerre dans la zone d'échanges », in Feuerhahn, W. ; Mandressi, R. (dir.), *L'interdisciplinarité, une histoire*, Paris, Éditions de la Sorbonne, à paraître.

- Gauchet, Marcel, 1985, *Le désenchantement du monde. Une histoire politique de la religion*, Paris, Gallimard.
- Gauchet, Marcel, 2001, « Croyances religieuses, croyances politiques », *Le Débat*, 115, 3–12.
- Gauchet, Marcel, 2007, *L'avènement de la démocratie II. La crise du libéralisme*, Paris, Gallimard.
- Gauchet, Marcel, 2017, *L'avènement de la démocratie IV. Le nouveau monde*, Paris, Gallimard.
- Gaudin, Jean-Pierre, 2002, *Pourquoi la gouvernance ?*, Paris, Presses de Sciences Po.
- Gennes, Pierre-Gilles (de), 1985, "Wetting: statics and dynamics", *Review of Modern Physics*, 57, 827-880.
- Georgakakis, Didier ; Lassalle, Marine (de) (dir.), 2007, *La « Nouvelle Gouvernance Européenne ». Genèses et Usages d'un Livre Blanc*, Strasbourg, Presses Universitaires de Strasbourg.
- Gingras, Yves, 2017, *Histoire des sciences*, Paris, PUF/Humensis (Que sais-je ?).
- Gross, Paul R. ; Levitt, Norman, 1994, *Higher Superstition. The Academic Left and its Quarrels with Science*, Baltimore and London, The Johns Hopkins University Press.
- Guery, Julie ; Bertrand, Emanuel ; Rouzeau, Catherine *et al.*, 2006, "Irreversible shear-activated aggregation in non-Brownian suspensions", *Physical Review Letters*, 96, 198301.
- Guthleben, Denis, 2009, *Histoire du CNRS de 1939 à nos jours. Une ambition nationale pour la science*, Paris, Armand Colin.
- Hamaker, Hugo Christiaan, 1937, "The London-van der Waals attraction between spherical particles", *Physica*, 4, 1058-1072.
- Harvey, David, 2007, *A Brief History of Neoliberalism*, Oxford, Oxford University Press.
- Hessen, Boris, 1931, *The Social and Economic Roots of Newton's 'Principia'*, Kniga.
- Israelachvili, Jacob, [1985] 1991, *Intermolecular and Surface Forces. Second edition*, Londres, Academic Press.
- Jacob, François, 1970, *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*, Paris, Gallimard.
- Jallade, Sébastien, 2011, « La réinvention des routes incas : représentations et construction de la mémoire au Pérou (2001 - 2011) », *Droit et Cultures*, 62, 119-137.
- Jallade, Sébastien, 2012, *Espíritu Pampa. Sur les chemins des Andes*, Paris, Transboréal.
- Jallade, Sébastien, 2015, « Mémoires du conflit armé et institutionnalisation de la médiation au Pérou. Réflexions à partir des expériences des lieux de mémoires locaux à Ayacucho et Apurímac », *Droit et cultures*, 70, 149-182.

- Jallade, Sébastien, 2018, « Qhapaq Ñan. Les chemins incas et le choc des mémoires », in Musset, A. (dir.), *7 routes mythiques. Quand l'histoire se mêle à la légende*, Malakoff, Armand Colin.
- Jensen, Pablo, 2018, *Pourquoi la société ne se laisse pas mettre en équations*, Paris, Le Seuil.
- Joss, Simon ; Brownlea, Arthur, 1999, "Considering the Concept of Procedural Justice for Public Policy and Decision-Making in Science and Technology", *Science and Public Policy*, 26, 321–330.
- Jurdant, Baudouin (dir.), 1998, *Impostures scientifiques. Les malentendus de l'affaire Sokal*, Paris-Nice, La Découverte/Alliage.
- Kant, Emmanuel, 1781, *Kritik der reinen Vernunft*, Riga, J.H. Hartnock.
- Kant, Emmanuel, 2006, *Critique de la raison pure*, Paris, Flammarion.
- Koyré, Alexandre, 1957, *From the Closed World to the Infinite Universe*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- Koyré, Alexandre, 1962, *Introduction à la lecture de Platon, suivi d'Entretiens sur Descartes*, Paris, Gallimard.
- Koyré, Alexandre, 1965, *Newtonian Studies*, Londres, Chapman & Hall.
- Koyré, Alexandre, 1968, *Études newtoniennes*, Paris, Gallimard.
- Koyré, Alexandre, 1973, *Du monde clos à l'univers infini*, Paris, Gallimard.
- Koyré, Alexandre, 2016, *De la mystique à la science. Cours, conférences et documents, 1922-1962*, Nouvelle édition revue et augmentée par Pietro Redondi, Paris, Éditions de l'EHESS.
- Kuhn, Thomas S., [1962] 1972, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion.
- Landau, Lev ; Lifshitz, Evgueni, 1967, *Physique statistique. Physique théorique, Tome 5*, Moscou, Éditions Mir.
- Laplace, Pierre-Simon (de), 1805, *Traité de mécanique céleste. Tome 4*, Paris, Courcier.
- Latour, Bruno, 1983, "Give me a laboratory and I will raise the world", in Knorr-Cetina, K.D. ; Mulkay, M. (dir.), *Science Observed*, Londres, Sage, 141-170.
- Latour, Bruno, 1984, *Les Microbes. Guerre et paix*, suivi de *Irréductions*, Paris, Métailié.
- Latour, Bruno ; Woolgar, Steve, 1979, *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*, Los Angeles-Londres, Sage.
- Laugier, Sandra ; Wagner, Pierre (dir.), 2004, *Philosophie des sciences*, 2 volumes, Paris, Vrin.
- Laurent, Brice, 2010, *Les politiques des nanotechnologies. Pour un traitement démocratique d'une science émergente*, Paris, Charles Léopold Mayer.

- Lefever, René, 2018, “The rehabilitation of irreversible processes and dissipative structures’ 50th anniversary”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 376, 20170365, 1-15.
- Lemerle, Sébastien, 2009, « Les habits neufs du biologisme en France », *Actes de la recherche en sciences sociales*, 176-177, 68-81.
- Levidow, Les ; Carr, Susan, 2010, *GM Food on Trial. Testing European Democracy*, New York/London, Taylor & Francis.
- Lifshitz, Evgueni Mikhaïlovitch, 1955, “The Theory of Molecular Attractive Forces between Solids”, *Journal of Experimental and Theoretical Physics USSR*, 29, 94-110.
- London, Fritz ; Polanyi, Michael, 1930, „Über die atomtheoretische Deutung der Adsorptionskräfte“, *Naturwissenschaften*, 18, 1099-1100.
- Mach, Ernst, [1905] 1908, *La Connaissance et l’Erreur*, Paris, Flammarion.
- Mach, Ernst, 1910, „Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen“, *Physikalische Zeitschrift*, 11, 599-606.
- Manin, Bernard, 1996, *Principes du gouvernement représentatif*, Paris, Flammarion.
- Martin, Emily, 1987, *The Woman in the Body: A Cultural Analysis of Reproduction*, Boston, Beacon Press.
- Martin, Olivier, [2000] 2005, *Sociologie des sciences*, Paris, Armand Colin.
- Merton, Robert King, 1942, “A note on Science and Democracy”, *Journal of Legal and Political Sociology*, 1, 115-126.
- Meunier, Jacques, 1984, « Ellipsométrie à modulation de phase », in Cazabat, A.-M. ; Veyssié, M. (dir.), *Colloïdes et Interfaces. École d’été, Aussois, France, 1983*, Les Ulis, Éditions de Physique, 181-214.
- Mirowski, Philip, 2011, *Science-Mart: Privatizing American Science*, Cambridge, Harvard University Press.
- Mirowski, Philip ; Plehwe, Dieter (dir.), 2009, *The Road from Mont Pèlerin: The Making of the Neoliberal Thought Collective*, Cambridge (MA), Harvard University Press.
- Mitchell, Timothy, 2011, *Carbon Democracy: Political Power in the Age of Oil*, London/New York, Verso.
- Moldover, Michael R. ; Cahn, John W., 1980, “An interface phase transition: complete to partial wetting”, *Science*, 207, 1073-1075.
- Monod, Jacques, 1970, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Le Seuil.
- Monod, Jacques, 1971, *Chance and Necessity. An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, New York, Alfred A. Knopf.

- Moretti, Franco ; Pestre, Dominique, 2015, “Bankspeak. The Language of World Bank Reports”, *New Left Review*, 92, 75-99.
- Morin, Edgar, [1990] 2003, « Sur l’interdisciplinarité », *L’Autre Forum*, 7, 5-10.
- Ostwald, Wilhelm, [1908] 1910, *L’Énergie*, Paris, Félix Alcan.
- Papon, Pierre ; Leblond, Jacques, 1990, *Thermodynamique des états de la matière*, Paris, Hermann.
- Parinet, Élisabeth, 2004, *Une histoire de l’édition à l’époque contemporaine (XIX^e-XX^e siècle)*, Paris, Le Seuil.
- Parinet, Élisabeth, 2022, « Un paysage éditorial éclaté », in Bertrand, E. ; Feuerhahn, W. ; Tesnière, V. (dir.), *Éditer l’histoire des sciences (France, XX^e siècle). Entre sciences et sciences humaines*, Villeurbanne, Presses de l’ENSSIB, 233-244.
- Perrin, Jean, [1913] 1991, *Les Atomes*, Paris, Flammarion.
- Pestre, Dominique, 2002, « L’évolution des champs de savoir, interdisciplinarité et valorisation », texte présenté le 14 janvier 2002 à Paris devant le Conseil scientifique du CNRS, en introduction à une journée de travail intitulée « L’évolution des champs de savoir, interdisciplinarité et noyaux durs ».
- Pestre, Dominique, 2003, *Science, argent et politique. Un essai d’interprétation*, Paris, INRA éditions.
- Pestre, Dominique, 2006, *Introduction aux Science Studies*, Paris, La Découverte.
- Pestre, Dominique, 2008, “Challenges for the Democratic Management of Technoscience: Governance, Participation and the Political Today”, *Science as Culture*, 17, 101-119.
- Pestre, Dominique, 2012, « Épistémologie et politique des *Science and Transnational Studies* », *Revue d’Anthropologie des Connaissances*, 6-3, 1-24.
- Petitot, Jean, 1982, « À propos de la querelle du déterminisme : de la théorie des catastrophes à la critique de la faculté de juger », *Traverses*, 24, 134-151.
- Picard, Jean-François, 1990, *La république des savants. La recherche française et le CNRS*, Paris, Flammarion.
- Planck, Max, 1909, „Die Einheit des physikalischen Weltbildes“, *Physikalische Zeitschrift*, 10, 62-75.
- Poincaré, Henri, 1890, « Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique », *Acta Mathematica*, 13, 1–270.
- Poincaré, Henri, 1902, *La science et l’hypothèse*, Paris, Flammarion.
- Polanyi, Michael, 1966, *The Tacit Dimension*, Chicago, University of Chicago Press.
- Pomian, Krzysztof (dir.), 1990, *La querelle du déterminisme. Philosophie de la science d’aujourd’hui*, Paris, Gallimard.

- Popper, Karl, [1934] 2004, « Chapitre premier. Problèmes fondamentaux de la logique de la connaissance », in Laugier, S. ; Wagner, P. (dir.), *Philosophie des sciences I. Théories, expériences et méthodes*, Paris, Vrin, 237-266.
- Prigogine, Ilya, 1968, *Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles*, Paris, Dunod.
- Prigogine, Ilya, 1980, *Physique, temps et devenir*, Paris, Masson.
- Prigogine, Ilya, 1996, *La fin des certitudes*, Paris, Odile Jacob.
- Prigogine, Ilya ; Stengers, Isabelle, 1979, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*, Paris, Gallimard.
- Prigogine Ilya ; Stengers Isabelle, 1981, *Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*, Munich, Piper.
- Prigogine Ilya ; Stengers Isabelle, 1984, *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, New York, Bantam books.
- Prigogine, Ilya ; Stengers, Isabelle, 1986, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*, seconde édition, Paris, Gallimard.
- Ragil, Karine ; Meunier, Jacques ; Broseta, Daniel ; Indekeu, Joseph ; Bonn, Daniel, 1996, "Experimental Observation of Critical Wetting", *Physical Review Letters*, 77, 1532-1535.
- Redondi, Pietro, 2016, « Une revanche de Platon laissée dans l'ombre : Koyré et le Dieu de Galilée », in Seidengart, J. (dir.), *Vérité scientifique et vérité philosophique dans l'œuvre d'Alexandre Koyré, suivi d'un inédit sur Galilée*, 247-260.
- Richard, Nathalie, 2015, *La Vie de Jésus de Renan. La Fabrique d'un best-seller*, Rennes, Presses universitaires de Rennes.
- Sayad, Abdelmalek, 1999, *La double absence. Des illusions de l'émigré aux souffrances de l'immigré*, Paris, Le Seuil.
- Schaffer, Simon, 1991, "The Eighteenth Brumaire of Bruno Latour", *Studies in History and Philosophy of Science*, 22, 174-192.
- Schummer, Joachim, 2004, "Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology", *Scientometrics*, 59, 424-465.
- Schutter, Olivier (de) ; Lebessis, Notis ; Paterson John (dir.), 2001, *La gouvernance dans l'Union européenne. Les cahiers de la cellule de prospective*, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Sokal, Alan, 1996, "Transgressing the boundaries: toward a transformative hermeneutics of quantum gravity", *Social Text*, 46/47, 217-252.
- Sokal, Alan ; Bricmont, Jean, 1997, *Impostures intellectuelles*, Paris, Odile Jacob.

- Stengers Isabelle, 1988, « À propos de l’histoire humaine de la nature », in Brans, Jean-Pierre ; Stengers, Isabelle ; Vincke, Philippe (dir.), *Temps et Devenir. À partir de l’œuvre d’Ilya Prigogine*, Genève, Patino, 137-141.
- Stengers, Isabelle, 2003a, *Cosmopolitiques I*, Paris, La Découverte.
- Stengers, Isabelle, 2003b, *Cosmopolitiques II*, Paris, La Découverte.
- Stengers, Isabelle, 2006, *La vierge et le neutrino. Les scientifiques dans la tourmente*, Paris, Les Empêcheurs de penser en rond/Le Seuil.
- Stoffel, Jean-François, 2000, *Bibliographie d’Alexandre Koyré*, Florence, Leo S. Olschki.
- Thom, René, 1980, « Halte au hasard, silence au bruit », *Le Débat*, 3, 119-132.
- Thomas, Frédéric ; Boisvert, Valérie (dir.), 2015, *Le pouvoir de la biodiversité. Néolibéralisation de la nature dans les pays émergents*, Marseille-Versailles, IRD Éditions/Éditions Quæ.
- Thomas-Fogiel, Isabelle, 2017, « Tristes réalismes. Exploration d’un tropisme philosophique contemporain », *Bulletin de la Société Française de Philosophie*, 111-2, 1-42.
- Topçu, Sezin, 2013, *La France nucléaire. L’art de gouverner une technologie contestée*, Paris, Le Seuil.
- Van der Waals, Johannes Diderik, 1894, „Thermodynamische Theorie der Kapillarität unter Voraussetzung stetiger Dichteänderung“, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 13, 657-725.
- Westfall, Richard S., 1980, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Young, Thomas, 1805, “An Essay on the Cohesion of Fluids”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 95, 65-87.

