# Apologie de la thermodynamique ou collaboration entre un physicien et une philosophe ? *La Nouvelle Alliance* d'I. Prigogine et I. Stengers (1979)*

Emanuel Bertrand

Maître de conférences (HDR) à l'ESPCI Paris, Chercheur au Centre Alexandre-Koyré (UMR 8560), Chercheur associé à l'IRISSO (UMR 7170), PSL Research University

**Résumé** En 1979, le physicien Ilya Prigogine et la philosophe Isabelle Stengers publient *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*, ouvrage atypique qui propose une histoire des sciences physiques et une réflexion philosophique au sujet de cette histoire, et appuie ses thèses sur des développements physico-mathématiques techniques. Nous analyserons d'abord les différentes facettes de la « nouvelle alliance » promue par les auteurs. Nous montrerons ensuite comment les auteurs restent finalement prisonniers des frontières disciplinaires qu'ils entendent déplacer, ou dépasser, et comment ils perpétuent certaines hiérarchies entre disciplines établies, à savoir la physique et la philosophie. Enfin, nous nous demanderons si le récit ainsi proposé n'a pas tendance à surestimer la puissance interprétative de la thermodynamique développée par Prigogine et ses collaborateurs.

**Mots-clés :** histoire des sciences, physique, thermodynamique, philosophie, interdisciplinaire

**Abstract** In 1979, the physicist Ilya Prigogine and the philosopher Isabelle Stengers published in French a book entitled *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*. Later translated in English, in 1984, as *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*, this is an atypical essay, not only combining both history of physics and philosophical reflexions about it, but also using technical mathematical physics developments to strengthen its theses. We will first analyse the nature of the "*nouvelle alliance*" which the authors are promoting. We shall then focus on the fact that, despite all their explicit efforts, the authors are still stuck within the disciplinary borders they intend to move, or even remove. In a sense, they perpetuate a hierarchical divide between the established disciplines that physics and philosophy represent. Finally, we will try to show how their narrative tends to overestimate the interpretative power of Prigogine's thermodynamics.

**Keywords:** History of Science, Physics, Thermodynamics, Philosophy, Interdisciplinary

* Je souhaite remercier chaleureusement Christelle Fourlon-Kouayep et Marcel Gauchet, des éditions Gallimard, et Jean-Marc Lévy-Leblond, des éditions du Seuil, pour m'avoir aidé à obtenir les chiffres de ventes de divers ouvrages. Je suis par ailleurs profondément reconnaissant envers Wolf Feuerhahn de m'avoir conseillé de m'intéresser de près à *La Nouvelle Alliance*.

En 1979 est publié en France un ouvrage retentissant[1] de sciences humaines et sociales, dont le titre n'hésite pas à puiser dans la symbolique biblique : *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*[2]. Tout d'abord, il est intéressant de noter que *La Nouvelle Alliance* est un véritable succès d'édition. Bénéficiant de six tirages successifs entre 1979 et 1983, l'édition en grand format, dans la collection « Bibliothèque des sciences humaines » des éditions Gallimard, totalise plus de 24 900 ventes nettes, ce qui représente une somme très importante pour un ouvrage de sciences humaines et sociales, à cette époque[3]. Par ailleurs, l'édition en format de poche, dans la collection « Folio Essais », totalise plus de 44 600 ventes nettes. La totalité des ventes de *La Nouvelle Alliance* représente donc environ 69 500 exemplaires, et l'on peut donc à juste titre parler de succès commercial pour ce livre. Ensuite, 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 champs disciplinaires *a priori* fort éloignés. Ilya Prigogine, né à Moscou en 1917 et Prix Nobel de chimie en 1977, est un physicien[4] et chimiste théoricien belge[5] internationalement reconnu, grand nom de la « thermodynamique des processus irréversibles ». Isabelle Stengers, née quant à elle en Belgique en 1949, est fille de deux historiens. Son père, Jean Stengers, est professeur d'histoire contemporaine à l'Université libre de Bruxelles, et sa mère, Adrienne, est professeure d'histoire dans l'enseignement secondaire. Isabelle Stengers est encore doctorante au moment de la publication de *La Nouvelle Alliance*, en 1979. Après une licence[6] en chimie et, en parallèle, une licence en philosophie, elle a finalement choisi, en 1972, de faire une thèse en philosophie

**1** La réception de l'ouvrage et les différentes controverses qu'il a suscitées seront analysées en détail dans une prochaine publication.

**2** Prigogine, Stengers, 1979.

**3** À titre de comparaison, le tirage total moyen d'un ouvrage de la même collection se situe entre 3 000 et 5 000 exemplaires. L'ensemble des données chiffrées a été obtenu par l'auteur auprès de Christelle Fourlon-Kouayep, assistante éditoriale aux éditions Gallimard, le 17 novembre 2015.

**4** À la question de savoir si Ilya Prigogine doit être considéré plutôt comme un physicien ou comme un chimiste (dans la mesure où c'est le prix Nobel de chimie qui lui a été attribué), nous avons obtenu, de la part de plusieurs personnes l'ayant fréquenté, des réponses convergentes quant au fait que lui-même se considérait comme un physicien. Pour Christian Vidal, physico-chimiste français ayant effectué en 1971-1972 un stage postdoctoral dans l'équipe de Prigogine, la réponse à cette question est sans équivoque : « Un physicien, sans aucun doute ! La raison pour laquelle il a eu le prix Nobel de chimie est qu'il s'était fait tellement d'ennemis que les physiciens n'ont jamais voulu lui donner le prix Nobel de physique. Je ne porte aucun jugement : c'est une réalité. Le prix Nobel de chimie lui a été attribué en 1977, à lui seul, à titre de "lot de consolation", parce que, manifestement, c'était une pointure intellectuelle tout à fait exceptionnelle. Quand je dis "exception", cela veut dire qu'il y a lui, et que je n'en connais pas d'autre. J'ai fréquenté quelques Prix Nobel, mais pas comme lui. » (Christian Vidal, entretien avec Emanuel Bertrand, Bordeaux, 15 juillet 2015).

**5** La famille d'Ilya Prigogine quitte la Russie en 1921, puis passe une année en Lituanie, avant de s'établir à Berlin. En 1929, la famille quitte l'Allemagne pour s'installer définitivement à Bruxelles. Ilya Prigogine acquiert la nationalité belge en 1949. Il est décédé à Bruxelles en 2003. Des éléments biographiques plus complets peuvent être obtenus dans Balescu, 2006 et Lefever, 2013.

**6** À cette époque, en Belgique, une licence est un diplôme universitaire sanctionnant la réussite de deux cycles successifs de deux ans chacun, soit quatre années d'études dans l'enseignement supérieur.

des sciences, sous la direction d'Ilya Prigogine, précisément[7]. En 1977, Prigogine et Stengers signent ensemble un long article, en deux parties, qui se présente comme une réponse aux conclusions philosophiques que Jacques Monod a tirées, en 1970, des découvertes de la biologie moléculaire, dont il a été un des célèbres artisans[8]. En effet, célèbre biologiste français, récompensé en 1965 du prix Nobel de physiologie ou médecine, aux côtés de François Jacob[9] et André Lwoff[10], pour leurs travaux en génétique moléculaire, Jacques Monod avait publié, en 1970, un essai intitulé *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*[11], qui fut un immense succès éditorial[12], et dans lequel on peut notamment lire, parmi les toutes dernières phrases : « 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[13]. » I. Stengers explique aujourd'hui[14] qu'elle a entièrement rédigé l'article de 1977, et

**7** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015. Bien entendu, l'ensemble des extraits de cet entretien doit être considéré avec la précaution et la distance requises par un tel témoignage rétrospectif, plus de trente-cinq ans après la publication de l'ouvrage considéré ici.

**8** Cet article (Prigogine, Stengers, 1977a et 1977b) est publié dans la revue *Scientia (International Review of Scientific Synthesis)*. Fondée en 1907 en Italie, cette revue se voulait profondément éclectique, accueillant des articles en sciences naturelles, en mathématiques, en philosophie et en sciences sociales. Chaque article y était publié dans la langue de son auteur puis traduit en anglais et parfois aussi en italien. Cette revue acquit une grande renommée internationale pendant la période 1910-1940, au cours de laquelle elle publia des articles de nombreux savants et penseurs illustres : Einstein, Poincaré, Mach, Freud, Russell, De Broglie, Heisenberg, Carnap… pour n'en citer que quelques-uns. À partir de 1940, et de l'entrée en guerre de l'Italie, elle perdit inéluctablement son rayonnement international, et son déclin se poursuivit après la guerre, jusqu'à la fin de sa parution en 1988 (voir le site internet, www.scientiajournal.org, consulté le 7 juillet 2016). Selon Google Scholar (consulté le 13 juillet 2016), la première partie de cet article (Prigogine, Stengers, 1977a) a été citée 54 fois, et la seconde partie (Prigogine, Stengers, 1977b) 6 fois. Bien que l'on ne puisse évidemment pas réduire l'influence d'un article ou d'un ouvrage à son nombre de citations, ce qui est significatif ici est le contraste avec les près de 1 700 citations de l'ouvrage de 1979 en français (Prigogine, Stengers, 1979), et les 836 citations de sa traduction en anglais de 1984 (Prigogine, Stengers, 1984), selon la même source.

**9** François Jacob a, lui aussi, publié en 1970 un ouvrage de réflexions sur la biologie moléculaire, intitulé *La Logique du vivant. Une histoire de l'hérédité* (Jacob, 1970). Prigogine et Stengers ne mentionnent son livre qu'une seule fois, en citant un passage où il affirme, conformément à leurs propres propos, que les laboratoires de biologie contemporaine n'interrogent pas le concept de vivant en tant que tel (Prigogine, Stengers, 1979, 192). Cet ouvrage de F. Jacob est également un très grand succès commercial, puisqu'il totalise près de 53 000 ventes nettes en grand format, dans la collection « Bibliothèque des sciences humaines », et près de 73 500 en format de poche, dans la collection « Tel », soit un total d'environ 126 500 exemplaires vendus (chiffres obtenus auprès de Christelle Fourlon-Kouayep, le 17 novembre 2015). Google Scholar recense 1 175 citations pour cet ouvrage (site consulté le 13 juillet 2016).

**10** Le troisième récipiendaire du prix Nobel de physiologie ou médecine de 1965 a également publié, en 1969, un livre de réflexion sur la biologie contemporaine, intitulé *L'Ordre biologique* (Lwoff, 1969). Ce livre, publié aux éditions Robert Laffont, n'est pas cité dans *La Nouvelle Alliance*, et son influence semble bien moindre que celle des ouvrages de Monod et de Jacob, si l'on en juge par les seules 40 citations recensées par Google Scholar (site consulté le 13 juillet 2016).

**11** Monod, 1970.

**12** *Le hasard et la nécessité* de J. Monod, publié aux éditions du Seuil, s'est vendu à environ 250 000 exemplaires en grand format, 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 environ 460 000 ventes nettes à ce jour. Ces chiffres de ventes ont été communiqués à l'auteur par Jean-Marc Lévy-Leblond, physicien et directeur des collections « Science ouverte » et « Points sciences » aux éditions du Seuil, le 10 juillet 2016. En outre, Google Scholar recense plus de 1 880 citations de cet ouvrage (site consulté le 13 juillet 2016).

**13** Monod, 1970, 194-195.

**14** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015.

en a trouvé le titre, « La Nouvelle Alliance », qui répond directement à la phrase précédente de Monod, placée en épigraphe de cet article[15]. Alors que Stengers n'a pas encore terminé sa thèse, bien que son financement, lui, soit arrivé à son terme, Prigogine reçoit le prix Nobel de chimie, en 1977, et, dans la foulée, se souvient Stengers, Prigogine lui dit : « Isabelle, ce livre dont nous parlions, maintenant il faut l'écrire[16] ! » Pour ce livre, qui sera finalement publié chez Gallimard en 1979, c'est Prigogine qui décide de reprendre le titre de l'article de 1977, malgré les réticences de Stengers, qu'elle évoque dans un entretien de 2015 :

> Moi, j'ai résisté. Enfin, ça me semblait un peu dangereux. Je ne voyais pas très bien, si Monod n'était pas rappelé à toutes les lignes, comment résister à l'idée qu'il y avait une dimension religieuse là-dedans. […] J'étais donc sceptique, mais il m'a dit : « Vous voyez mieux ? » Et je n'ai pas trouvé mieux[17] !

## Une grande fresque retraçant trois siècles de sciences physiques

Cet ouvrage, *La Nouvelle Alliance*, est un livre dense, complexe, parfois aride, qui mêle histoire des sciences, réflexions philosophiques et développements scientifiques techniques, loin de tout véritable effort de vulgarisation[18]. René Lefever, un des plus proches collaborateurs de Prigogine, dès le milieu des années 1960, et encore en activité, en tant que professeur émérite à l'Université libre de Bruxelles, confirme le niveau d'exigence de l'ouvrage dans un entretien réalisé en 2015 : « La perception de *La Nouvelle Alliance* n'est pas la même quand on est physicien et quand on est philosophe, ou même n'importe quel homme de la rue, qui doit avoir beaucoup de peine à suivre le cheminement des idées[19]. »

**15** L'article de 1977 (Prigogine, Stengers, 1977a et 1977b), qui compte 32 pages et comporte cinq sections, offre de nombreux contrastes avec l'ouvrage de 1979, dont l'envergure et l'ambition sont évidemment d'une tout autre dimension. Parmi les nombreuses différences entre ces deux textes, on se contentera d'en souligner quelques-unes : l'article de 1977 n'inclut jamais de détails physico-mathématiques techniques dans son argumentaire ; il insiste beaucoup plus sur le terme précis d'« épistémologie » que sur celui, plus général, de « philosophie » ; ses partis pris historiographiques sont sensiblement différents, en ce sens que, contrairement au livre de 1979, il insiste presque autant sur l'apport de la mécanique quantique (à laquelle il consacre une de ses cinq sections) que sur celui de la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre, pour expliquer en quoi la science contemporaine diffère radicalement de la science moderne ; enfin, toujours du point de vue historiographique, l'article de 1977 mobilise davantage la figure de Galilée que celle de Newton comme fondateur de la science moderne, alors que c'est le choix inverse qui est fait dans l'ouvrage de 1979 étudié ici.

**16** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015.

**17** *Ibid*.

**18** La philosophe et historienne des sciences Bernadette Bensaude-Vincent, dans un court texte où elle revient sur ce livre, plus de vingt-cinq ans après sa publication, le qualifie d'« ouvrage difficile qui n'épargne point les détails techniques » (Bensaude-Vincent, 2006).

**19** René Lefever, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 16 juillet 2015.

Le livre retrace à grands traits, et en privilégiant les aspects relatifs à la dynamique et à la thermodynamique, l'évolution des sciences physiques européennes depuis la fin du XVII^e^ siècle, et les travaux de Newton, jusqu'au début du XX^e^ siècle, et à l'émergence de la relativité et de la mécanique quantique. Les auteurs s'attardent également sur les évolutions plus récentes de la thermodynamique, en insistant particulièrement sur les travaux réalisés autour de Prigogine lui-même. Comme tout récit, cette histoire des sciences physiques, longue de plus de trois siècles, ne peut prétendre à une quelconque neutralité, et elle est au service de plusieurs thèses. Avant de revenir en détail sur certains choix historiographiques opérés par ce récit, et de chercher à mettre en perspective les thèses qu'il défend, nous proposons de résumer cette grande fresque d'histoire des sciences, telle que les auteurs ont choisi de la dérouler, mais en évitant au maximum d'évoquer les aspects les plus techniques. Le récit qui suit se veut donc fidèle à celui proposé par les auteurs. Nos analyses de certains partis pris historiographiques seront développées par la suite, dans quelques notes de bas de page ou au fil du récit.

Précisons d'abord que, dans l'ensemble de l'ouvrage, « science classique », « science moderne » et « science newtonienne » sont employées sans distinction sémantique nette : c'est le contexte narratif qui fait préférer aux auteurs l'une ou l'autre de ces expressions. L'expression « science classique » est généralement utilisée lorsqu'il s'agit d'opérer un contraste avec les découvertes scientifiques les plus contemporaines. « Science moderne » permet de mettre en avant des caractéristiques supposées communes à l'ensemble des sciences de la nature développées en Europe depuis le XVII^e^ siècle. Et « science newtonienne » insiste sur la place, que les auteurs présentent comme centrale, de la dynamique des objets inertes dans ces sciences de la nature. Pour Prigogine et Stengers, la position de Newton et de ses héritiers est que la nature obéit à des lois universelles, qui constituent en quelque sorte son langage, et se réduisent à la traduction mathématique d'interactions attractives et répulsives entre objets inertes. Pour nos deux auteurs, la conviction qui accompagne le développement de cette science classique est la suivante : l'apparente complexité de la nature « se ramène à la vérité unique des lois mathématiques du mouvement[20] ». Un langage unique, les mathématiques, suffirait ainsi pour décrire la nature et en extraire sa vérité. Dans ce cadre, l'homme n'appartient plus à la nature, qu'il décrit et domine de l'extérieur. La « gravitation universelle », conceptualisée par Newton, apparaît alors comme la seule vérité de la nature. La discipline reine de la science classique serait donc la « dynamique newtonienne[21] », c'est-à-dire l'étude du mouvement des corps inertes, qui réduit tout changement à un ensemble de trajectoires. De plus, la trajectoire décrite

**20** Prigogine, Stengers, 1979, 52.

**21** Ici, l'adjectif « newtonienne » pour qualifier la dynamique est évidemment anachronique. Les termes employés à l'époque concernée sont simplement « dynamique » ou « mécanique ».

par la dynamique newtonienne possède trois caractéristiques, fondamentales pour l'ensemble des sciences classiques[22] : 1) elle est régie par une « loi générale », à la fois universelle et formalisable dans le langage mathématique ; 2) elle est « déterministe » (n'importe quel état instantané du système considéré permet de déduire l'évolution passée comme l'évolution future de ce système) ; 3) elle est « réversible » (l'inversion – imaginaire – des vitesses de tous les points du système considéré est équivalente à l'inversion du sens de l'écoulement du temps).

Prigogine et Stengers estiment que, depuis environ 1830, au moment même où, avec le positivisme, la science newtonienne triomphe comme projet global de manipulation de la nature et de prédiction de son comportement, ses limites – notamment sa référence à une nature bien peu « naturelle » – sont de plus en plus visibles. Précisément, c'est la thermodynamique, née au XIXe siècle de la volonté d'utiliser l'action de la chaleur pour produire une force motrice, qui aurait fait entrer simultanément le problème de la complexité naturelle et la question du devenir dans les sciences physiques mathématisées. Plus précisément encore, pour Prigogine et Stengers, l'événement symbolique inaugural de « la science de la complexité[23] » est la formulation de la théorie de la propagation de la chaleur dans les solides par Joseph Fourier en 1811[24]. Il s'agit en effet, pour eux, de la première théorie de physique mathématique tout à fait étrangère à la dynamique newtonienne. Elle décrit un phénomène physique *a priori* aussi universel que celui de la gravitation, mais distinct de lui. Il apparaît rapidement que la dynamique – science du mouvement des corps inertes – et la thermodynamique – science de la chaleur et de ses transferts – constituent deux disciplines scientifiques distinctes. La théorie de la propagation de la chaleur correspond également à l'introduction de la notion d'« irréversibilité » dans les sciences physico-mathématiques : quelles que soient les directions des vitesses des particules qui composent la matière, les transferts de chaleur s'effectuent toujours du corps chaud vers le corps froid. Cela constitue une entorse de taille au principe de réversibilité de la science newtonienne. En outre, à partir des travaux de l'ingénieur français Sadi Carnot, publiés en 1824[25], la thermodynamique[26] permet d'accroître le rendement des machines à vapeur et s'impose comme la discipline scientifique associée aux innovations techniques de la première révolution industrielle du XIXe siècle. Formulé notamment par le physicien

**22** Prigogine, Stengers, 1979, 68-70.

**23** « La science de la complexité » désigne ici la thermodynamique en général, au sens où celle-ci s'intéresse à des systèmes « mettant en jeu l'interaction d'un très grand nombre de particules » (Prigogine, Stengers, 1979, 120). La variante « la science du complexe » est souvent employée par les auteurs, notamment comme titre de la deuxième des trois parties de l'ouvrage, consacrée aux évolutions de la thermodynamique (Prigogine, Stengers, 1979, 115-195).

**24** Prigogine, Stengers, 1979, 118.

**25** Ces travaux (Carnot, 1824) ont été réédités en 1990 (Carnot, 1990).

**26** On notera que l'emploi du terme « thermodynamique » pour parler des travaux de Carnot est un anachronisme. Lui-même, comme ses contemporains, parle de « puissance motrice du feu » (Carnot, 1990).

anglais James Joule en 1847, le principe de conservation de l'énergie[27] (qui deviendra le « premier principe de la thermodynamique ») va permettre de sauvegarder l'idée, dont nos auteurs affirment qu'elle est essentielle pour la science classique, d'une unité de la science des processus physico-chimiques, permettant même d'intégrer la dynamique newtonienne comme une des composantes de cette science unifiée. Pour Prigogine et Stengers, « l'idée s'impose d'un nouvel âge d'or de la physique, d'un parachèvement et d'une généralisation ultime du type de raisonnement qui avait fait le succès de la mécanique[28] ». Dès 1850, le physicien allemand Rudolf Clausius, sans mentionner explicitement la question de l'irréversibilité, insiste sur le fait que les processus qui conservent l'énergie ne sont pas tous réalisables[29]. En 1852, le physicien britannique William Thomson[30] propose un nouvel énoncé pour ce qui deviendra plus tard le « second principe de la thermodynamique » et est ainsi, pour Prigogine et Stengers, à l'origine de la première formulation explicite de la problématique de l'irréversibilité en physique. En 1865, Clausius[31] introduit la notion d'entropie pour donner une expression mathématique à cette irréversibilité formulée par le second principe : l'entropie est une grandeur qui, pour tout système matériel isolé, croît sans discontinuer au cours du temps jusqu'à une valeur maximale, réalisée lorsque le système considéré atteint son état d'équilibre[32]. Pour Prigogine et Stengers, c'en est alors fini de la réversibilité caractéristique de la science newtonienne. Désormais, le passé et le futur ne sont plus équivalents : le futur est la direction du temps pour laquelle l'entropie d'un système isolé croît. Avec la thermodynamique, il apparaît donc que, contrairement à

**27** Les auteurs soulignent, en se référant à Elkana, 1974 et Kuhn, 1977, qu'il est impossible d'attribuer la paternité de ce principe de conservation de l'énergie à un savant en particulier, pas plus à Joule qu'au médecin allemand Julius von Mayer, au physicien allemand Hermann von Helmholtz, ou encore au chimiste allemand Justus von Liebig. Isabelle Stengers reviendra d'ailleurs en 1996 sur la cristallisation progressive, dans les années 1840, du concept d'énergie et du principe de sa conservation, en reprenant à son compte le concept de Thomas Kuhn (1977) de « découverte simultanée » (Stengers, 1996, 34-43).

**28** Prigogine, Stengers, 1979, 126.

**29** À cette occasion, pour compléter le principe de conservation de l'énergie, il formule explicitement un « second principe » (Clausius, 1991, 52-55), qui s'inspire directement des travaux de Carnot (Carnot, 1990, 9-11), et qui deviendra le « second principe de la thermodynamique ». S'il est vain de vouloir attribuer à un savant particulier la paternité des idées exprimées par le principe en question, il est clair que l'expression « second principe » pour le désigner apparaît dès 1850 chez Clausius avant d'être reprise par William Thomson en 1852. Il est donc incorrect de prétendre, comme le font Prigogine et Stengers (1979, 132), que c'est Thomson qui énonce le second principe de la thermodynamique. Isabelle Stengers reviendra d'ailleurs plus tard en détail sur les différences d'interprétation entre Thomson et Clausius de ce second principe (Stengers, 1996, 51-59).

**30** Il sera anobli en 1866 et deviendra lord Kelvin.

**31** Il est intéressant de noter que, dans ses travaux de 1850, comme dans tous ceux qui suivront, jusqu'en 1866, Rudolf Clausius ne parle jamais de « thermodynamique », mais de « théorie mécanique de la chaleur ». De même, l'ensemble de ses travaux publiés entre 1850 et 1866 sont regroupés dans un volume intitulé *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie* (Clausius, 1867), traduit en français par *Théorie mécanique de la chaleur* (Clausius, 1868). Bien que Prigogine et Stengers ne mentionnent pas cet aspect sémantique, cela va dans le sens de leurs propos relatifs au statut de référence de la mécanique, au moins jusqu'au XIX^e^ siècle, pour toutes les sciences physiques, y compris pour la thermodynamique.

**32** Dans son article de 1865 (Clausius, 1865), arguant que le seul système réellement isolé est l'univers tout entier, Clausius déduit des deux principes de la thermodynamique le double énoncé cosmologique suivant : « 1) L'énergie de l'univers est constante. 2) L'entropie de l'univers tend vers un maximum. » La traduction utilisée ici est celle de (Clausius, 1991, 420).

ce qu'affirme la dynamique newtonienne, les processus de la nature sont quasiment tous irréversibles et mènent irrémédiablement tout système matériel vers l'équilibre. La dynamique et la thermodynamique offrent donc deux descriptions apparemment inconciliables de la nature. Pour nos deux auteurs, ce sont James Maxwell et Ludwig Boltzmann qui, indépendamment l'un de l'autre, en 1866, vont réconcilier thermodynamique et dynamique, en introduisant les probabilités comme principe explicatif des effets dus au grand nombre de particules présent dans la matière. Mais, même ainsi réconciliée avec la science newtonienne, la thermodynamique de Boltzmann ne suffit pas, pour les deux auteurs, à rendre compte de la diversité des comportements observables dans la nature, ni des phénomènes de structuration de la matière et encore moins des propriétés des êtres vivants. La seule évolution que cette thermodynamique est capable de décrire est l'évolution vers des états où la matière est répartie de façon parfaitement homogène, c'est-à-dire où règnent le désordre moléculaire et l'uniformité statistique. Selon nos auteurs, la thermodynamique de Boltzmann est donc tout aussi incapable de décrire le comportement du vivant que l'était la dynamique newtonienne avant elle.

Cependant, pour Prigogine et Stengers, il apparaît bientôt, au cours du XX^e siècle, que de nombreux phénomènes, notamment les réactions chimiques et en particulier les processus biochimiques, tels que ceux qui régissent le métabolisme des êtres vivants, se déroulent loin de tout équilibre thermodynamique. L'un des premiers scientifiques à s'intéresser, dans le cadre d'une approche mariant chimie, physique et mathématiques, à ces croisements entre réactions chimiques et non-équilibre thermodynamique est le scientifique belge Théophile de Donder[33]. Travaillant lui aussi dans ce domaine naissant de la thermodynamique des systèmes hors d'équilibre, le physicochimiste américain d'origine norvégienne Lars Onsager établit en 1931 les premières relations générales du domaine en question[34]. Mais Onsager se concentre sur des systèmes relativement proches de l'équilibre et, selon Prigogine et Stengers, il fonde ce qui prendra plus tard le nom de « domaine linéaire de la thermodynamique des processus irréversibles » ou, plus simplement, de « thermodynamique linéaire ». Cette branche de la thermodynamique décrit l'évolution des systèmes matériels vers des états stationnaires stables, prévisibles et déductibles de lois générales[35]. En ce sens, la

**33** Le mathématicien, physicien et chimiste belge Théophile de Donder (1872-1957) a notamment introduit, en 1922, une nouvelle définition de l'« affinité » d'un système chimique réactif. Cette grandeur permet à la fois de quantifier « la distance du système par rapport à l'équilibre » et de déterminer « le sens des réactions chimiques susceptibles de mener le système vers l'équilibre » (Prigogine, Stengers, 1979, 149). Après avoir été son étudiant, Prigogine est nommé assistant de Donder à l'Université libre de Bruxelles en 1940 (Balescu, 2006, 10-11).

**34** Il s'agit des « relations de réciprocité », dont Prigogine et Stengers affirment qu'elles ont été « le point crucial dans le transfert d'intérêt de l'équilibre vers le non-équilibre » (Prigogine, Stengers, 1979, 151-152), et pour lesquelles Lars Onsager (1903-1976) obtiendra le prix Nobel de chimie en 1968.

**35** La principale loi générale permettant de déterminer ces états stationnaires est appelée « théorème de production minimale d'entropie ». Ce théorème est mentionné dans *La Nouvelle Alliance* (Prigogine, Stengers, 1979, 152), mais il n'y est pas précisé que

thermodynamique linéaire n'est pas, pour nos deux auteurs, fondamentalement différente de la science newtonienne. Elle ne permet pas, en tout cas, de réconcilier la tendance thermodynamique avec la désorganisation moléculaire et l'apparition de formes organisées dans la nature. Plus tard, selon le récit proposé par *La Nouvelle Alliance*, sous l'impulsion des travaux théoriques de Prigogine et de ses collaborateurs[36], un consensus va émerger autour de l'idée que, loin de l'équilibre, il n'est pas toujours possible d'énoncer des lois générales permettant de définir des états stationnaires stables vers lesquels évolueraient les systèmes. C'est ainsi qu'est décrite la construction du dernier des « trois stades de la thermodynamique[37] » : la « thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre » ou, plus simplement, « thermodynamique non linéaire ». L'idée fondatrice de ce « troisième stade » de la thermodynamique est la suivante : lorsque les contraintes extérieures appliquées à un système matériel sont suffisamment grandes pour le maintenir loin de l'équilibre, ce système peut se révéler instable. De simples fluctuations moléculaires internes aléatoires – habituellement vouées, dans le cas de systèmes stables, à s'atténuer spontanément – peuvent alors s'amplifier jusqu'à produire des effets à grande échelle et entraîner ce système vers des régimes de fonctionnement singuliers, que l'on ne peut étudier qu'au cas par cas. Cette fois, selon Prigogine et Stengers, c'en est bel et bien fini du « monde stable », et régi par des lois générales, de la science newtonienne et de ses avatars[38]. Les processus irréversibles loin de l'équilibre sont alors susceptibles de générer localement des structures, que Prigogine et ses collaborateurs appellent « structures dissipatives », expression dont, selon nos auteurs, « le nom traduit l'association entre l'idée d'ordre et l'idée de gaspillage[39] » : loin de l'équilibre, la dissipation (le « gaspillage ») d'énergie, à l'échelle microscopique, peut être source de structures, c'est-à-dire d'organisation (d'« ordre ») à l'échelle macroscopique. Dans ces structures, comme dans le monde du vivant, la matière n'est pas répartie de façon homogène. Avec ce nouveau cadre conceptuel, pour Prigogine et Stengers, la « prédiction » n'est plus une valeur cardinale et une part irréductible d'incertitude se fait jour. Les équations permettant de calculer si un état est stable ou instable restent parfaitement déterministes, mais c'est le hasard

c'est Prigogine lui-même qui l'a établi dans sa thèse d'agrégation de l'enseignement supérieur de l'Université libre de Bruxelles, intitulée *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles*, soutenue en 1945 et publiée en 1947 (Prigogine, 1947).

**36** 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 (2006) ou à la notice biographique écrite par René Lefever (Lefever, 2013). Sur les croisements et influences réciproques entre mathématiques, hydrodynamique et thermodynamique dans ces recherches, le lecteur trouvera des précisions utiles dans (Aubin, 1998, 595-606).

**37** « Les trois stades de la thermodynamique » est le titre du cinquième des neuf chapitres du livre (Prigogine, Stengers, 1979, 145-173).

**38** Prigogine, Stengers, 1979, 154.

**39** *Ibid.*, 156.

des fluctuations microscopiques (*i.e.* moléculaires) singulières qui détermine quel état du système, ou quelle structure, advient effectivement[40].

Pour les auteurs, les structures dissipatives permettent à la physique de faire enfin « droit à la spécificité du phénomène vivant[41] ». Cette possibilité de structuration de la matière, loin de l'équilibre, fournit un outil conceptuel pour comprendre comment la cohérence globale d'un organisme vivant peut émerger malgré le « comportement essentiellement aléatoire de la population des molécules biologiques[42] ». À la faveur de ces développements de la thermodynamique loin de l'équilibre, il semble que le divorce soit consommé entre deux branches de la physique qui décrivent deux mondes que tout oppose. D'un côté, le monde de la dynamique, issu de la science newtonienne, mais dont, comme les auteurs l'expliqueront plus avant dans leur livre, la relativité et la mécanique quantique se sont parfaitement accommodées. Il s'agit d'un monde de trajectoires (ou de fonctions d'onde, variantes probabilistes des trajectoires dans le cas de la mécanique quantique) régies par des lois parfaitement déterministes et réversibles, c'est-à-dire un monde dans lequel le passé et le futur sont interchangeables. C'est en fait le monde associé à une nature composée de matière inerte et caractérisée par sa permanence. De l'autre côté, le monde de la thermodynamique loin de l'équilibre, où les processus physiques modifient la matière de façon irréversible, et dans lequel l'activité moléculaire engendre création et destruction de structures. C'est, cette fois-ci, le monde associé à une nature peuplée de matière vivante et toujours changeante.

Prigogine et Stengers évoquent ensuite ce qu'ils considèrent comme les « deux révolutions scientifiques du XX^e siècle[43] » à savoir la relativité et la mécanique quantique. Dans le cadre de la relativité, la vitesse de la lumière apparaît comme une limite qui s'impose à tout observateur et qui illustre le fait que cet observateur est un être concret avec des moyens limités. La relativité est donc une théorie soumise aux contraintes associées à l'insertion de l'observateur humain dans le monde physique qu'il décrit, c'est-à-dire à son appartenance à la nature. Néanmoins, nos auteurs insistent sur le fait que les trajectoires des objets relativistes sont tout aussi déterministes et réversibles que celles des objets newtoniens. Par ailleurs, en ce qui concerne la mécanique quantique, elle invite, selon eux, à renoncer au concept d'homogénéité de l'Univers. En effet, avec ce nouveau cadre théorique, il existe désormais deux échelles de masse (ou de taille) pour les objets de la nature. Un objet « quantique », léger et microscopique, par exemple une particule élémentaire (un électron, un photon, etc.), n'a pas un comportement analogue à celui d'un objet « classique », macroscopique. C'en est donc fini de l'« objet galiléen » universel. En outre, la description de l'objet quantique, contrairement à celle de l'objet classique, ne peut être que probabiliste.

**40** *Ibid.*, 167.
**41** *Ibid.*, 170.
**42** *Ibid.*, 172.
**43** *Ibid.*, 220.

Pour ce nouvel objet, il est impossible de définir une trajectoire. Pour le décrire, on utilise une « fonction d'onde », représentation mathématique qui renseigne sur la probabilité de trouver cet objet dans une région circonscrite de l'espace, à un instant donné. Cependant, pour Prigogine et Stengers, en ce qui concerne l'évolution temporelle d'un système matériel, la mécanique quantique et la mécanique classique (*i.e.* newtonienne) ne sont pas fondamentalement différentes, dans la mesure où l'évolution temporelle de la fonction d'onde d'un système quantique, décrite par l'équation de Schrödinger, est déterministe et réversible[44].

Dans la grande fresque d'histoire de la physique que développent Prigogine et Stengers, la notion d'irréversibilité va progressivement trouver sa place, au cours du XX^e^ siècle, par l'intermédiaire d'un « renouveau de la dynamique[45] ». Selon eux, la dynamique classique elle-même va peu à peu s'affranchir du concept de « trajectoire » auquel elle semblait pourtant indissolublement liée. La trajectoire se révèle ainsi être une idéalisation qui repose sur la possibilité *a priori* de déterminer les conditions initiales d'un système avec une précision infinie, ce qui n'est pas humainement réalisable. Or il existe des systèmes matériels pour lesquels cette idéalisation n'est ni possible ni même pertinente : les « systèmes à stabilité faible[46] ». Une nouvelle description dynamique générale[47] émerge alors, qui considère, pour décrire le mouvement d'un système, un ensemble de trajectoires possibles plutôt qu'une trajectoire unique, impossible à déterminer. La trajectoire déterministe s'avère ainsi, pour Prigogine et Stengers, être un cas particulier très rare. En général, selon eux, la seule prédiction possible concerne le « destin statistique du système[48] ». Dès la fin du XIX^e^ siècle, le mathématicien et astronome allemand Heinrich Bruns (1887) et le mathématicien et physicien français Henri Poincaré (1888) avaient déjà montré, dans le cadre de la dynamique newtonienne, en étudiant le célèbre « problème à trois corps », que la détermination certaine des trajectoires des trois corps en question était impossible[49]. Autrement dit, Bruns et Poincaré avaient montré que le système Soleil-Terre-Lune est un système non-déterministe, c'est-à-dire qu'il est impossible de déterminer avec certitude si les trajectoires périodiques actuelles de la

**44** Prigogine, Stengers, 1979, 235. Les auteurs sont beaucoup moins catégoriques dans leur article de 1977, où ils insistent, au contraire, sur l'irréversibilité indissociable du concept de mesure en mécanique quantique (Prigogine, Stengers, 1977b, 617-620).

**45** Prigogine, Stengers, 1979, 242-249.

**46** Prigogine, Stengers, 1979, 241.

**47** La place centrale de Prigogine et de ses collaborateurs dans la construction de cette nouvelle représentation dynamique, à partir de 1962, et les liens intimes de cette représentation avec la notion de « flèche du temps » sont analysés en détail dans (Stengers, 1997).

**48** Prigogine, Stengers, 1979, 242.

**49** Prigogine, Stengers, 1979, 85 et 248. Les auteurs signalent aussi que, dès 1747, le mathématicien et physicien suisse Leonhard Euler, le mathématicien français Alexis Clairaut et le mathématicien et philosophe français Jean le Rond d'Alembert avaient déjà montré, indépendamment les uns des autres, que les équations décrivant le mouvement de la Lune, sous l'influence de la présence du Soleil et de la Terre, étaient impossibles à résoudre exactement dans le cadre de la dynamique newtonienne. Néanmoins, ils avaient finalement réussi, à l'aide d'approximations mathématiques, à établir la trajectoire périodique de la Lune, évitant ainsi, selon nos deux auteurs, que soit remise en cause la dynamique newtonienne (Prigogine, Stengers, 1979, 75-77).

Terre et de la Lune seront stables sur le très long terme ou si elles finiront par s'éloigner de façon irréversible des orbites que nous leur connaissons. Les systèmes physiques de la dynamique newtonienne, dont la trajectoire est générale, déterministe et réversible, constituent donc, pour nos auteurs, des cas-limites d'un ensemble beaucoup plus vaste : les « systèmes à stabilité faible » que l'on peut décrire à l'aide de la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre[50]. Prigogine et Stengers concluent de cette grande fresque d'histoire de la physique que les scientifiques sont désormais confrontés à la diversité qualitative des phénomènes de la nature. Hors de certains cas particuliers simples, ils doivent se limiter à des descriptions statistiques de situations singulières, aléatoires et irréversibles[51].

Enfin, à la toute fin de leur ouvrage, Prigogine et Stengers prennent appui sur cette « nouvelle science[52] » des processus irréversibles loin de l'équilibre, fruit de la « métamorphose de la science », évoquée en sous-titre et décrite tout au long du livre, pour affirmer que le monde de la science moderne est bien mort, et pour annoncer, dans la dernière phrase du livre, l'advenue non pas d'une seule, mais de plusieurs « nouvelles alliances[53] ».

## Quelles nouvelles alliances[54] ?

### Une alliance entre dynamique et thermodynamique

La première alliance à laquelle invite cet ouvrage est donc une alliance interdisciplinaire[55], au sein des sciences de la nature, entre la dynamique newtonienne et la thermodynamique des processus irréversibles. Plus généralement, il s'agit d'une convergence progressive entre la dynamique newtonienne et l'ensemble des disciplines scientifiques qui, selon Prigogine et Stengers, ne se sont jamais vraiment conformées aux méthodologies et aux présupposés de la science newtonienne, à savoir la chimie, la biologie, la médecine et la thermodynamique, notamment. Dès les débuts de la thermodynamique, au XIX^e siècle, il semble à nos deux auteurs que l'approche qu'elle propose soit destinée à rester toujours inconciliable avec la dynamique newtonienne : la thermodynamique

**50** Prigogine, Stengers, 1979, 248-249.

**51** *Ibid.*, 258-259.

**52** *Ibid.*, 285.

**53** *Ibid.*, 296.

**54** Rappelons ici que l'utilisation quasi exclusive du terme « alliance », tout au long de l'ouvrage, pour désigner des idées assez différentes les unes des autres, ne constitue pas un mystère et ne justifie pas de longs développements sémantiques. Comme les auteurs le rappellent en de très nombreux passages (et notamment à plusieurs reprises dans leur introduction et dans leur conclusion) et comme nous l'avons souligné plus haut, leur choix repose entièrement sur la volonté de répondre à Jacques Monod, qui affirme dans *Le hasard et la nécessité* (Monod, 1970) que « l'ancienne alliance est rompue » (Monod, 1970, 194-195).

**55** Soulignons dès à présent que Prigogine et Stengers n'emploient jamais les termes « interdisciplinaire » ou « interdisciplinarité », qui ne sont d'ailleurs pas encore répandus dans le milieu académique européen de la fin des années 1970, ni aucun autre synonyme de ces termes. Leur choix explicite est de n'utiliser que le terme « alliance », afin de rappeler que l'ensemble de leur ouvrage peut (ou même doit) être lu comme une réponse à celui de J. Monod (Monod, 1970).

décrit l'évolution irréversible des systèmes matériels complexes vers l'équilibre, et rend donc justice à la diversité qualitative des phénomènes physiques de la nature, alors que la dynamique newtonienne ne peut concevoir que des mouvements réversibles, tous qualitativement identiques et parfaitement déterministes. Les développements, qui précèdent de quelques décennies la publication de *La Nouvelle Alliance*, notamment dans le sillage de Lars Onsager et d'Ilya Prigogine, et qui amènent la thermodynamique à s'intéresser de plus près aux processus irréversibles qui se déroulent loin de l'équilibre, semblent même placer la thermodynamique et la dynamique newtonienne dans des positions plus éloignées que jamais. Aucune des deux disciplines scientifiques, malgré leurs nombreuses tentatives respectives, ne semble alors en mesure de réduire l'autre au statut de cas particulier de son propre cadre théorique général. Certes, la mécanique quantique a contribué à renouveler le formalisme et les principes de la dynamique et ainsi à rapprocher dynamique et thermodynamique. Mais, selon les auteurs, ce ne sont que les tout derniers travaux de l'équipe d'Ilya Prigogine, contemporains de la publication de *La Nouvelle Alliance*, qui sont en mesure de proposer une « nouvelle synthèse » entre dynamique et thermodynamique[56]. Ils prétendent en effet démontrer que les systèmes considérés par la dynamique newtonienne ne sont finalement que des cas particuliers d'un ensemble beaucoup plus vaste de problèmes dynamiques généraux qu'il est possible d'articuler avec la thermodynamique des processus irréversibles : « le fossé entre Boltzmann et la dynamique est bien comblé, non pas par une procédure d'approximation mais par une extension appropriée de la dynamique[57] ». En d'autres termes, la réversibilité des mouvements, principe central de la dynamique newtonienne, ne serait qu'un cas-limite de la propriété générale d'irréversibilité des transformations de la matière. Ce sont donc bien, selon nos auteurs, les dernières recherches d'Ilya Prigogine et de ses collaborateurs qui rendent possible, et souhaitable, cette « nouvelle alliance » interdisciplinaire entre deux disciplines jusqu'ici inconciliables : la dynamique et la thermodynamique. Mais il s'agit bien d'une « alliance » entre deux disciplines scientifiques, et non d'une illusoire théorie scientifique unitaire, qui engloberait l'infiniment petit (*i.e.* des tailles aussi petites que $10^{-17}$ m) et l'infiniment grand (*i.e.* des distances aussi grandes que $10^{26}$ m) dans une description unique et simple. Pour les auteurs, en effet, cette quête de simplicité est bel et bien dépassée, car elle ne pouvait être envisagée que dans le cadre de la science newtonienne :

> Les particules élémentaires ne sont pas simples, pas plus que le monde des étoiles. Les seuls objets dont le comportement soit vraiment simple appartiennent à notre monde, à notre échelle macroscopique ; ce sont les premiers objets de la science newtonienne, les planètes, les corps graves, les pendules. La science classique avait soigneusement choisi ses objets dans

**56** Prigogine, Stengers, 1979, 262.

**57** *Ibid.*

> ce niveau intermédiaire ; nous savons maintenant que cette simplicité n'est pas la marque du fondamental, et qu'elle ne peut être attribuée au reste du monde[58].

## Une alliance entre sciences de la nature et philosophie

La deuxième dimension de la « nouvelle alliance » est encore celle d'une alliance interdisciplinaire, mais, cette fois-ci, entre les sciences de la nature et toutes les autres formes de savoirs[59], avec une place particulière faite à la philosophie[60]. Jusqu'à une période toute récente, selon Prigogine et Stengers, la culture occidentale moderne s'est polarisée entre deux approches apparemment irréconciliables : la « science newtonienne » qui décrit et manipule une nature inerte mais ne l'explique pas et la philosophie qui s'efforce de comprendre une nature vivante humaine et sociale mais qui est hors de portée de la science newtonienne. Ainsi, pour les auteurs, à la fin du XIX^e^ siècle, l'« affrontement » disciplinaire ne se situe « plus tant entre les scientifiques, désormais organisés en disciplines académiques différenciées, qu'entre "la science" et le reste de la culture, en particulier, la philosophie[61] ». Ils déplorent cet état de cloisonnement et s'en réfèrent notamment à Maurice Merleau-Ponty[62] qui, écrivent-ils, « a souligné la gravité des conséquences du partage stérile qui laisserait la nature à la science alors que la philosophie se réserverait la subjectivité humaine et l'histoire[63] ». Heureusement, pour les auteurs, les sciences physico-chimiques de la nature sont aujourd'hui parvenues à un stade de leur développement tel qu'elles sont désormais en mesure de « faire alliance » avec les autres formes de savoirs :

> Au moment où elles découvrent les problèmes de la complexité et du devenir, [les sciences de la nature] deviennent capables d'entendre quelque chose de la signification de certaines questions exprimées par les mythes, les religions et les philosophies[64].

**58** Prigogine, Stengers, 1979, 219.

**59** Pour ces autres formes de savoirs, les auteurs se réfèrent à toutes les productions culturelles humaines, aussi bien aux mythes, aux religions et aux arts qu'aux sciences humaines et sociales. Néanmoins, cette expression « sciences humaines et sociales » n'est jamais utilisée par les auteurs qui lui préfèrent « sciences humaines » (40, 64, 280, 281), « sciences de la société » (188, 280, 294), « sciences de la société et de la culture » (144), « sciences de l'homme et des sociétés » (62) ou encore « sciences dont l'objet est l'homme et les sociétés humaines » (42).

**60** Dans l'ouvrage, la philosophie est parfois incluse dans l'ensemble des sciences humaines. Toutefois, la plupart du temps, elle est singularisée et considérée comme une composante singulière de la culture, au même titre que les sciences humaines. De ce fait, il subsiste un certain flou entre la notion d'alliance générale entre sciences de la nature et autres savoirs, et celle d'alliance spécifique entre sciences de la nature et philosophie, bien que ces deux formes d'alliance soient également promues par les auteurs. En revanche, l'article de 1977 est plus précis sur ce point et affirme qu'au XX^e^ siècle, les connaissances se répartissent en trois catégories : « les sciences de la nature », « des sciences humaines » et « une pensée philosophique » (Prigogine, Stengers, 1977a, 292).

**61** Prigogine, Stengers, 1979, 276.

**62** Merleau-Ponty, 1968, 91.

**63** Prigogine, Stengers, 1979, 109.

**64** *Ibid.*, 42.

Les auteurs reprennent alors à leur compte l'idée du chimiste et romancier britannique Charles Snow de constitution d'une « troisième culture[65] », c'est-à-dire, pour Prigogine et Stengers, d'« un milieu où puisse s'engager l'indispensable dialogue entre la démarche de modélisation mathématique et l'expérience conceptuelle et pratique de ceux, économistes, biologistes, sociologues, démographes, médecins, qui essaient de décrire la société humaine dans sa complexité[66] ». Se pose ainsi, pour les auteurs, la question d'une nouvelle cohérence possible entre la visée d'action sur le monde des sciences mathématico-physico-chimiques et l'objectif de compréhension du monde des « autres activités intellectuelles, arts, philosophies, sciences de l'homme et des sociétés[67] ». Mais il ne s'agit pas pour autant d'affirmer que les interrogations scientifiques et les interrogations philosophiques sont identiques. Les auteurs préfèrent parler de « complémentarité de savoirs qui, dans les deux cas, constituent la traduction [...] de préoccupations appartenant à une culture et à une époque[68] ».

En outre, les auteurs de *La Nouvelle Alliance* incarnent, en quelque sorte, eux-mêmes, par leurs parcours respectifs de physicien et de philosophe, cette alliance entre les sciences de la nature et la philosophie. Dans un entretien de 2015, la philosophe Isabelle Stengers commente son dialogue avec le physicien Ilya Prigogine en ces termes : « c'était une vraie collaboration : je lui faisais confiance pour les sciences – je n'allais pas discuter sciences avec lui – et lui considérait que, pour la philosophie, c'était moi qui menais plus ou moins le jeu[69] ». Par ailleurs, dans de nombreux passages de leur ouvrage, ils s'efforcent de mettre en évidence « la communication entre la physico-chimie et les sciences des populations vivantes et des sociétés[70] ». Par exemple, ils mentionnent des « résonances fécondes » entre les utilisations du concept d'équilibre en mécanique, en thermodynamique, en biologie et même « dans les sciences des sociétés[71] ». Ils font également allusion à l'importation fréquente des méthodes physiques et mathématiques en biologie, en économie et en sociologie. Ils considèrent ainsi que le linguiste Ferdinand de Saussure utilise des idées analogues à celles de non-linéarité et d'instabilité, avant même que la thermodynamique ne formalise ces notions[72]. Ils détaillent aussi les multiples emprunts – tout à fait pertinents à leurs yeux – de l'anthropologie structurale de Claude Lévi-Strauss aux concepts de la mécanique, de la physique statistique et de la thermodynamique[73].

**65** Idée développée dans son livre (Snow, 1963).
**66** Prigogine, Stengers, 1979, 42-43.
**67** *Ibid.*, 62.
**68** *Ibid.*, 290.
**69** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015.
**70** Prigogine, Stengers, 1979, 186.
**71** *Ibid.*, 187.
**72** *Ibid.*, 188.
**73** Prigogine, Stengers, 1979, 188-189.

## Une alliance entre la nature et les hommes

En troisième lieu, plus loin des enjeux disciplinaires, la « nouvelle alliance » est une alliance entre la nature et les hommes. Selon les auteurs, la science newtonienne, étant incapable d'y apporter des réponses, a nié les questions concrètes relatives aux rapports entre la nature et les êtres humains qui l'habitent et la décrivent. Cette situation historique de fait des sciences de la nature aurait été érigée, par certains penseurs, en principe philosophique décrétant ces questions illégitimes. Ainsi, Prigogine et Stengers écrivent : « Certains philosophes ont défini le progrès de la science en termes de rupture, de coupure, et de négation, de dépassement de l'expérience concrète vers une abstraction de plus en plus aride[74]. » Les hommes, et plus généralement le monde vivant, seraient alors restés en marge de la nature étudiée par la science newtonienne. Pour Prigogine et Stengers, la première remise en question de cette séparation étanche entre une nature, considérée comme inerte, et les hommes, est venue de la théorie de la relativité : étant limité dans ses observations par la vitesse de propagation de la lumière, l'homme ne peut prétendre décrire le monde physique d'un point de vue extérieur. De ce fait, selon eux, nous faisons à l'évidence partie du monde que nous décrivons : « Notre dialogue avec la nature est bien mené de l'intérieur de la nature[75]. »

Pour les auteurs, l'alliance entre la nature et les hommes passe également par l'abandon de la vision que la science newtonienne a du « temps[76] » comme paramètre physique continu et monotone, et par la poursuite du projet de Bergson de caractérisation du temps comme invention, création, élaboration perpétuelle de nouveauté[77]. C'est pourquoi ils concluent leur chapitre introductif en appelant de leurs vœux la reconsidération d'un « temps » qui réconcilie l'homme avec le monde. Ils répondent ainsi aux propos, déjà mentionnés, de Jacques Monod, pour qui, après la fin de l'alliance multiséculaire entre Dieu et l'homme – qui n'a pas résisté à la puissance de « désenchantement » inhérente aux sciences modernes –, l'homme est désormais seul dans l'Univers. Prigogine et Stengers répondent donc à Monod en annonçant l'advenue d'une nouvelle alliance : « Le temps aujourd'hui retrouvé, c'est aussi le temps qui ne parle plus

**74** Prigogine, Stengers, 1979, 24. Bien que la référence au philosophe français Gaston Bachelard et à son concept de « rupture épistémologique » (Bachelard, 1938) puisse sembler évidente, son nom n'est pas mentionné dans ce passage. En fait, Prigogine et Stengers explicitent ultérieurement leur désaccord de fond avec ce philosophe : « Gaston Bachelard accorde une grande importance à cette isolation du "corps scientifique", dont il fait un progrès décisif ; on pourrait même avancer qu'en un sens toute son œuvre a pour axe cette mise en ordre institutionnelle et ses conséquences dans l'ordre de la connaissance [...] la pratique non professionnelle d'une activité de recherche curieuse et critique [pourrait] pourtant nous être une source d'inspiration aujourd'hui bien nécessaire » (Prigogine, Stengers, 1979, 77, note 3).

**75** Prigogine, Stengers, 1979, 222.

**76** Sur l'évolution du concept de temps et de sa mesure dans les sciences physiques, et en particulier en dynamique et en thermodynamique, on pourra se reporter au livre écrit en 1975 par deux chercheurs français s'inscrivant explicitement dans le sillage de la thermodynamique développée au sein de l'équipe de Prigogine (Pacault, Vidal, 1975).

**77** À plusieurs reprises dans leur livre (Prigogine, Stengers, 1979, 19, 107, 144, et 257), les auteurs citent (ou évoquent) la phrase de Bergson : « le temps est invention ou il n'est rien du tout » (Bergson, 1906, 784).

de solitude, mais de l'alliance de l'homme avec la nature qu'il décrit[78]. » Selon eux, la vision de la biologie que Monod développe dans son ouvrage *Le hasard et la nécessité* s'inscrit parfaitement dans le sillage de la science newtonienne : l'homme et la vie sont du côté du hasard (« apparition du code génétique et succession des mutations favorables[79] »), alors que la nature inerte et la mort sont du côté de la nécessité (inhérente aux lois physiques et statistiques de la nature). La réflexion philosophique que Monod tire des découvertes de la biologie moléculaire fait du vivant une particularité arbitraire, un événement hautement improbable, qui ne doit son advenue qu'à une « succession de miracles statistiques[80] ». Dans ce cadre, l'homme, et avec lui tout le monde vivant, se trouve encore, comme avec la science newtonienne, dans une position d'extériorité par rapport à la nature, inerte et au comportement déterministe. Au contraire, selon Prigogine et Stengers, dans le cadre nouveau de la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre, la vie résulte d'un phénomène d'auto-organisation de la matière, qui n'est possible, précisément, que parce que les systèmes vivants sont maintenus naturellement loin de l'équilibre. Ainsi, pour eux, la vie est un phénomène tout aussi « naturel » – au sens des sciences classiques de la « nature » – que la chute des corps[81], et rien ne s'oppose donc plus, d'un point de vue scientifique, à l'alliance entre la nature et les hommes. Ainsi, les auteurs affirment qu'avec cette « science métamorphosée, le dialogue culturel est à nouveau possible et, inséparablement, qu'une nouvelle alliance peut se nouer avec la nature au devenir de laquelle participent le jeu expérimental et l'aventure exploratoire de la science[82] ». Remarquons au passage le rôle central, sur lequel nous reviendrons, de la science développée par Prigogine et ses collaborateurs, dans cette nouvelle alliance entre la nature et les hommes. En effet, la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre est précisément ce qui permet de faire droit, au sein des sciences de la nature, à la spécificité du vivant, et donc ce qui rend possible cette alliance entre la nature et les hommes. D'ailleurs, selon les auteurs, la science de la nature mérite même, désormais, le statut de « science humaine, science faite par des hommes pour des hommes[83] ».

## Une alliance entre l'être et le devenir

Enfin, la « nouvelle alliance » est aussi une alliance entre l'*être* – c'est-à-dire aussi la nécessité, la permanence, le déterminisme, le prévisible – et le *devenir* – ce qui recoupe également la contingence, le changement, le hasard (ou l'aléatoire), le non-prévisible.

**78** Prigogine, Stengers, 1979, 29.
**79** *Ibid.*, 191.
**80** *Ibid.*, 193.
**81** *Ibid.*
**82** *Ibid.*, 64.
**83** *Ibid.*, 281.

Le lien entre cette dimension métaphysique de la « nouvelle alliance » et l'alliance interdisciplinaire entre thermodynamique des processus irréversibles et dynamique newtonienne apparaît sans ambiguïté dans la question rhétorique suivante :

> Comment franchir l'abîme qui sépare le temps des processus complexes et le temps ramené à l'identité de la loi, la science du devenir et la science de l'être, deux sciences que tout oppose et qui pourtant décrivent le même monde[84] ?

Pour Prigogine et Stengers, deux modèles métaphysiques ont dominé tour à tour la pensée occidentale. Le modèle d'Aristote distingue le « monde céleste », éternel et divin, où les astres décrivent des trajectoires immuables, et le « monde sublunaire », centré sur les organismes vivants, leur diversité et leur devenir. Le modèle de Galilée, bien que ce ne fût pas, selon nos auteurs, son intention initiale[85], est articulé autour de l'être immuable et du mouvement éternel des corps inertes, et attribue aux objets terrestres les mêmes caractéristiques mathématiques qu'aux astres divins d'Aristote. Ainsi, ce modèle métaphysique des sciences modernes aurait rejeté les êtres vivants – c'est-à-dire des entités toujours en devenir – hors de son système du monde, fondé sur une nature inerte. D'ailleurs, se référant à la pensée d'Émile Meyerson, Prigogine et Stengers affirment que l'histoire des sciences modernes raconte « la réalisation progressive [...] d'une explication qui ramène le divers et le changeant à l'identique et au permanent, et qui dès lors élimine le temps[86] ». À propos de cette dimension métaphysique de leur « nouvelle alliance », nos deux auteurs revendiquent l'héritage philosophique d'Alfred Whitehead, pour qui la tâche de la philosophie était, précisément, selon eux, « de réconcilier la permanence et le devenir, de penser les choses comme processus, de penser le devenir comme constitutif d'entités identifiables...[87] ». Whitehead avait d'ailleurs souligné que la philosophie, dans sa volonté de se démarquer de la science, risquait toujours de « se complaire à l'exploit brillant d'expliquer, en niant ce qui est à expliquer[88] ». Mais la physique de l'époque ne disposait pas encore, selon Prigogine et Stengers, des outils nécessaires pour s'emparer de la philosophie de Whitehead. Nous l'avons dit, pour ces auteurs, c'est la thermodynamique, au XIXe siècle, qui fait entrer le problème du devenir dans la sphère des sciences mathématico-physico-chimiques. En effet, dans un moteur thermique, les échanges de chaleur transforment le corps (généralement de la vapeur) contenu dans le moteur et c'est cette transformation qui est responsable de la force motrice produite[89]. Mais, pour Prigogine et Stengers, ce problème du devenir n'apparaîtra explicitement, et dans toute son étendue, que lorsque

**84** *Ibid.*, 195.
**85** *Ibid.*, 266.
**86** *Ibid.*, 274.
**87** *Ibid.*, 111.
**88** Whitehead, 1969, 20. La traduction de cette citation est celle des auteurs (Prigogine, Stengers, 1979, 111).
**89** Prigogine, Stengers, 1979, 121.

les processus irréversibles seront enfin considérés, dans la seconde moitié du XX^e^ siècle, comme une dimension à part entière de la thermodynamique et donc de la physique. Pour nos deux auteurs, la science actuelle et la philosophie disposent désormais de concepts que nous pouvons essayer « d'articuler pour penser les relations entre l'être, éternel et immuable, et le devenir[90] ». Selon eux, la pensée de l'être a été exemplairement développée par Galilée, Newton et leurs héritiers, alors que la réflexion sur le devenir remonte à la philosophie du monde sublunaire d'Aristote, et a été revisitée, plus récemment, par Bergson. Pourtant, pour Prigogine et Stengers, il n'y a pas lieu d'opposer, comme chez Jacques Monod, le hasard et la nécessité. Ils affirment même que de nombreuses situations physiques sont caractérisées par « une coexistence remarquable du "hasard" et de la "nécessité"[91] ». De même, ils insistent sur « la découverte des processus d'organisation spontanée et des structures dissipatives dont la genèse implique l'association indissoluble du hasard et de la nécessité[92] ». La thermodynamique des processus irréversibles est ainsi capable, selon eux, de concilier le déterminisme des équations permettant de calculer si un état d'un système est stable ou instable et le hasard des fluctuations microscopiques (moléculaires) aléatoires qui font advenir l'état réel du système. Les auteurs prennent bien soin de distinguer le « hasard » (ou l'aléatoire), c'est-à-dire le fait que, parmi toutes les fluctuations possibles, l'une ou l'autre se réalise, et l'« arbitraire », c'est-à-dire l'idée que n'importe quelle fluctuation serait possible, sans aucune contrainte ni aucun champ déterminé des fluctuations possibles : « Le fait qu'une organisation ou un régime de fonctionnement ne puissent pas être déduits comme nécessaires, et qu'ils soient toujours à la merci d'une fluctuation, ne signifie pas, soulignons-le, qu'ils soient arbitraires[93]. » Cette thermodynamique loin de l'équilibre permet en effet de décrire « la succession des fluctuations qui ont décidé de l'histoire réelle parmi toutes les histoires possibles[94] ». La dimension déterministe de la thermodynamique est ainsi capable d'expliquer les effets à grande échelle d'événements microscopiques contingents. Cette thermodynamique-là rend donc possible, pour Prigogine et Stengers, une alliance entre l'*être* – dont la permanence est bien décrite par les lois déterministes de la science moderne – et le *devenir* – dont la contingence est intimement liée au hasard de fluctuations microscopiques non prévisibles. Cette dimension de la « nouvelle alliance » est bien résumée dans un passage aux accents poétiques, qui file la métaphore du pont :

> Ce que nous pouvons décrire, en ce qui concerne la fin du XIX^e^ siècle, comme un "océan" de différence entre dynamique et thermodynamique, entre le monde de l'être et le monde du

**90** *Ibid.*, 45.
**91** *Ibid.*, 245.
**92** *Ibid.*, 22.
**93** *Ibid.*, 191.
**94** *Ibid.*, 168.

devenir, s'est aujourd'hui rétréci jusqu'à n'être plus qu'une "rivière" : trop large encore pour être ignorée mais assez étroite pour qu'un pont puisse être construit qui la franchisse, un pont entre la science de l'"être" et celle du "devenir"[95].

### Cohérence des nouvelles alliances

Les parallèles entre ces quatre dimensions que nous avons attribuées à l'idée de « nouvelle alliance » sont nombreux et apparaissent bien dans la toute dernière phrase de l'ouvrage : « Le temps est venu de nouvelles alliances, depuis toujours nouées, longtemps méconnues, entre l'histoire des hommes, de leurs sociétés, de leurs savoirs et l'aventure exploratrice des sciences de la nature[96]. » Pour faire une synthèse de toutes ces dimensions, nous pouvons affirmer qu'il s'agit, en somme, dans cet ouvrage, de l'alliance entre, d'un côté, la dynamique newtonienne, les sciences d'une nature inerte, cette nature elle-même, et l'*être* permanent qu'elle incarne, et, de l'autre côté, la thermodynamique des processus irréversibles, l'ensemble des savoirs humains (notamment philosophiques) mais aussi les hommes et le *devenir* contingent qu'ils incarnent. Prigogine et Stengers évoquent d'ailleurs implicitement, tout au long de leur ouvrage, les croisements entre ces différents enjeux de leur « nouvelle alliance ». Ainsi, ils appellent à « reconnaître la convergence entre théorie physique et doctrine philosophique à propos de l'articulation entre être et devenir ». Enfin, dans le même passage de leur chapitre de conclusion, ils écrivent : « Physique et métaphysique se rencontrent aujourd'hui pour penser un monde où le processus, le devenir, serait constitutif de l'existence physique[97]. »

## Une alliance entre disciplines sans aucune hiérarchie ?

Intéressons-nous maintenant aux limites, voire aux impasses ou aux contradictions, du type d'interdisciplinarité que Prigogine et Stengers défendent explicitement – et qui est une des principales dimensions de leur « nouvelle alliance » – entre sciences de la nature, et plus particulièrement thermodynamique des processus irréversibles, et autres formes de savoirs humains.

Ces auteurs revendiquent en effet leur utilisation d'« approches qui font bon marché des cloisonnements académiques les mieux reconnus, et singulièrement de ceux qui séparent les sciences de l'animé et de l'inanimé. Nous pensons, après Leibniz et bien d'autres, que le geste de cloisonner est aussi vain que celui de partager les eaux des océans…[98] ». Dans la conclusion de leur livre, ils évoquent aussi le « sourd travail de

**95** *Ibid.*, 216.
**96** *Ibid.*, 296.
**97** *Ibid.*, 283.
**98** *Ibid.*, 186.

quelques questions qui déterminent les mises en communication profondes par-delà la prolifération des disciplines ». Ils continuent ainsi :

> C'est souvent aux intersections entre disciplines, à l'occasion de la convergence entre voies d'approche séparées, que sont ressuscités des problèmes que l'on pensait réglés, qu'ont pu insister, sous une forme renouvelée, des questions anciennes, antérieures au cloisonnement disciplinaire[99].

Dans les dernières pages, ils affirment même s'être livrés, dans leur ouvrage, à un véritable plaidoyer pour

> que le caractère foncièrement ouvert de la science soit reconnu, et pour que, en particulier, la fécondité des communications entre interrogations philosophiques et scientifiques cesse d'être niée par des cloisonnements, ou détruite par un rapport d'affrontement[100].

Sans trop anticiper sur la suite de notre propos, il apparaît déjà ici que c'est le caractère ouvert de la science, et pas celui de la philosophie, qui est mis en avant par les auteurs. En outre, malgré leurs déclarations d'intention, il nous semble que les auteurs restent en partie prisonniers des frontières qu'ils entendent dépasser. D'abord, ils utilisent presque toujours le singulier pour désigner les sciences de la nature – ils parlent ainsi quasi exclusivement de « la science » –, ce qui a tendance à essentialiser ces sciences et donc à les démarquer explicitement des autres champs de la connaissance, tels que la philosophie ou les sciences humaines et sociales, dont c'est au contraire la pluralité et la diversité qui sont systématiquement soulignées. Cette tendance à essentialiser « la » science apparaît même dès le sous-titre de l'ouvrage, *Métamorphose de la science*, qui est aussi le titre du chapitre introductif[101].

Surtout, en dépit de leur discours explicite en faveur de leur « alliance », Prigogine et Stengers perpétuent implicitement une véritable hiérarchie disciplinaire entre sciences de la nature et philosophie. Il est d'ailleurs révélateur que leur philosophe de référence, en ce qui concerne la réflexion sur l'alliance entre les sciences de la nature et la philosophie, soit Whitehead, dont ils écrivent que « son œuvre est d'ailleurs, de part en part, celle d'un mathématicien[102] ». Plus généralement, à de nombreuses reprises, il apparaît, en creux, que les sciences de la nature restent cognitivement supérieures à la philosophie. Cela se comprend même, dans une certaine mesure, à la lecture du sous-titre de l'ouvrage : c'est la « métamorphose de la science », et pas de la philosophie, ni des sciences humaines et sociales, qui est d'emblée placée au cœur de la « nouvelle alliance ». Pour les auteurs, c'est bien la science qui s'est métamorphosée et peut ainsi désormais faire toute leur place aux interrogations philosophiques qu'elle avait jusqu'ici choisi d'ignorer : « La

**99** *Ibid.*, 286.
**100** *Ibid.*, 290.
**101** *Ibid.*, 9-29.
**102** *Ibid.*, 110.

science classique, la science mythique d'un monde simple et passif, est en train de mourir, tuée non pas par la critique philosophique, non pas par la résignation empiriste, mais par son développement même[103]. » Ainsi, à propos de la séparation entre science et philosophie, les auteurs estiment que « du point de vue scientifique, les conditions semblent aujourd'hui réunies pour qu'elle prenne fin[104] ». De même, pour eux, les sciences de la nature sont maintenant « capables aussi de mieux mesurer la nature des problèmes propres aux sciences dont l'objet est l'homme et les sociétés humaines[105] ». Plus loin, on peut lire : « La science d'aujourd'hui ne peut plus se donner le droit de nier la pertinence et l'intérêt d'autres points de vue, de refuser en particulier, d'entendre ceux des sciences humaines, de la philosophie, de l'art[106] ». C'est donc bien au sein des sciences de la nature, et pas des sciences humaines ou de la philosophie, que doit se réaliser l'alliance entre les deux types de connaissances.

Cette perpétuation de certaines hiérarchies disciplinaires est encore plus claire dans cet autre passage, où c'est bien la science et le scientifique qui sont à la manœuvre :

> Si la science elle-même invite aujourd'hui le scientifique à l'intelligence et à l'ouverture, si les alibis théoriques au dogmatisme et au mépris ont disparu, il reste la tâche concrète, politique et sociale, de créer les circuits d'une culture[107].

Il s'agit donc bien, pour le scientifique, de ne plus mépriser, de façon dogmatique, les questionnements du philosophe et de les faire siens. Il ne s'agit donc pas d'une alliance d'égal à égal entre scientifique et philosophe, mais bien d'une appropriation par les scientifiques des enjeux philosophiques liés à l'entreprise de connaissance du monde. C'est donc en quelque sorte au scientifique qu'il incombe de réaliser et même d'incarner la « nouvelle alliance » : « La nature, objet de science, est aussi ce qui a produit les hommes capables de science : cette exigence de compréhension cohérente [...] doit prendre sens au sein de la science, pouvoir être entendue par les hommes de science en tant que tels[108]. » Ailleurs, Prigogine et Stengers reviennent sur les philosophes qui les ont inspirés[109] pour leur ouvrage : Lucrèce[110], Leibniz[111], Bergson[112],

**103** Prigogine, Stengers, 1979, 64.
**104** *Ibid.*, 101.
**105** *Ibid.*, 42.
**106** *Ibid.*, 64.
**107** *Ibid.*, 64.
**108** *Ibid.*, 113.
**109** *Ibid.*, 291.
**110** Les auteurs s'attardent essentiellement sur la notion de *clinamen* (Prigogine, Stengers, 1979, 154-155 et 284-285) – déviation qui vient perturber la chute éternelle des atomes dans le vide – développée par Lucrèce dans *De rerum natura*. La traduction mentionnée par les auteurs est Lucrèce, 1972.
**111** Les auteurs interprètent notamment la monadologie de Leibniz (Leibniz, 1714) comme la représentation philosophique de la dynamique newtonienne (Prigogine, Stengers, 1979, 282-283).
**112** Ce sont les concepts d'intuition (Bergson, 1934 ; Prigogine, Stengers, 1979, 106 et 108) et de temps comme invention (Bergson, 1906 ; Prigogine et Stengers, 19-20, 29 et 107) qui retiennent particulièrement l'attention des auteurs.

Whitehead[113], Deleuze[114] et Serres[115]. À leur propos, ils écrivent : « Dans certains cas, des philosophes ont "précédé" la science, ont exploré les concepts et leurs implications bien avant que cette dernière puisse les mettre en œuvre ou découvre leur puissance contraignante[116]. » Il apparaît alors clairement que c'est la science qui constitue la référence en matière de connaissance, même si quelques philosophes particulièrement inspirés peuvent parfois la « précéder ». Ces philosophes sont vus ici comme des individualités exceptionnelles capables d'anticiper de futurs développements scientifiques, mais ce n'est pas la philosophie en tant que discipline qui peut éclairer la science. Pourtant, ce n'est assurément pas la seule façon possible d'articuler concepts philosophiques et découvertes scientifiques : une autre hypothèse envisageable est que certaines explorations ou découvertes scientifiques n'auraient pas été possibles sans l'existence préalable de concepts issus de réflexions philosophiques.

Finalement, à regarder de près cette « nouvelle alliance », il ne s'agit donc pas réellement de dialogue interdisciplinaire, mais plutôt de l'idée que les sciences physiques sont désormais capables d'affronter les problématiques de la philosophie, et des autres sciences humaines et sociales, qu'elles sont donc quasiment parvenues au stade de l'autosuffisance et peuvent abriter en leur sein l'ensemble des disciplines intellectuelles. Ainsi, selon Prigogine et Stengers, « la physique théorique peut désormais comprendre le sens de certaines questions philosophiques qui se rapportent à la situation de l'homme dans le monde[117] ». Ils affirment ainsi qu'il est possible de relire les interrogations philosophiques de Leibniz sur les monades, de Whitehead sur les processus et le devenir, et même le matérialisme dialectique, à la lumière de la physique contemporaine[118]. Un autre passage de la conclusion de l'ouvrage est exemplaire à ce sujet. En effet, pour les auteurs, « le scientifique n'est pas voué à se comporter comme un somnambule kuhnien ; il peut, sans renoncer pour autant à être un scientifique, prendre l'initiative, chercher à intégrer dans les sciences des perspectives et des questions nouvelles[119] ». Il s'agit donc bien, à nouveau, d'intégrer des problématiques philosophiques dans les sciences, physiques en l'occurrence. D'ailleurs, cette description d'un scientifique lucide et sensible aux questionnements

**113** Prigogine et Stengers reprennent sa notion de « heurt des doctrines » (Whitehead, 1925) à propos de l'apparente incompatibilité entre dynamique et thermodynamique (Prigogine, Stengers, 1979, 199). Ils s'inspirent également de la cosmologie développée dans Whitehead, 1929. Isabelle Stengers consacrera en 2002 un ouvrage à la pensée de ce philosophe (Stengers, 2002).

**114** Parmi les nombreuses références à Gilles Deleuze, c'est l'ouvrage *Différence et répétition* (Deleuze, 1968) qui est le plus cité par les auteurs, notamment à propos de la création de concepts philosophiques qu'il y défend et met en œuvre (Priogine, Stengers, 1979, 291).

**115** La pensée de Michel Serres est souvent mise à contribution par les auteurs qui consacrent notamment plusieurs développements (Prigogine, Stengers, 1979, 154-155 et 284-285) à son analyse du *clinamen* de Lucrèce (Serres, 1977).

**116** Prigogine, Stengers, 1979, 292-293.

**117** *Ibid.*, 281.

**118** *Ibid.*, 282-283.

**119** *Ibid.*, 289.

philosophiques n'est pas sans rappeler la personne même d'Ilya Prigogine, à la fois physicien théoricien et directeur de la thèse de philosophie des sciences d'Isabelle Stengers[120]. Questionnée aujourd'hui à propos de cette asymétrie entre les sciences et la philosophie au sein de cette alliance entre elles, Isabelle Stengers la reconnaît bien volontiers, et ajoute :

> Je ne pourrai jamais faire entrer un argument de type scientifique dans de la philosophie. Donc la science reste gagnante… Mais c'est vrai que je n'ai jamais eu une loyauté forcenée envers la philosophie. Ce qui veut dire que j'avais plutôt une loyauté envers toutes les sciences qui avaient été disqualifiées au nom des lois de la physique[121].

## Le triomphe d'une nouvelle thermodynamique ou son alliance contingente avec la philosophie ?

Il est enfin essentiel de souligner que dans ce récit, dans cette vision de la science comme moteur d'une « nouvelle alliance » entre sciences de la nature et sciences humaines, ce sont les découvertes liées à la thermodynamique loin de l'équilibre et aux « structures dissipatives », réalisées par Prigogine et ses collaborateurs, qui procurent à la science son ouverture vers les humanités. Ainsi, lorsque Prigogine et Stengers abordent la critique philosophique que Bergson propose de la science classique, ils ajoutent immédiatement que cette critique constitue « un programme que commencent à réaliser les métamorphoses actuelles de la science[122] ». C'est en effet, selon les auteurs, grâce à la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre, que nous pouvons « commencer à comprendre la complexité des questions auxquelles se confrontent les sciences de la société[123] ».

De même, alors que de nombreux auteurs ont mis en valeur la dimension de rupture, ou de discontinuité, qu'ont pu représenter, en sciences physiques, la théorie de la relativité[124] et la mécanique quantique[125], Prigogine et Stengers, bien qu'ils parlent

**120** L'asymétrie entre sciences (physiques) et philosophie, mise en évidence ici, n'est certainement pas sans relation avec l'asymétrie entre les deux auteurs de *La Nouvelle Alliance* : en 1979, Ilya Prigogine est un homme de 62 ans, scientifique de renommée internationale – attestée par son prix Nobel de 1977 – et directeur de thèse d'Isabelle Stengers qui, elle, est une jeune femme de 30 ans, doctorante en philosophie et ne disposant encore d'aucune reconnaissance académique, nationale ou internationale. Cette asymétrie entre les deux auteurs sera étudiée plus en détail dans une future publication consacrée à la réception de *La Nouvelle Alliance*, voir note 1.

**121** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015.

**122** Prigogine, Stengers, 1979, 108.

**123** *Ibid.*, 294.

**124** Pour ne citer que lui, Thomas Kuhn décrit la théorie de la relativité (restreinte) comme le « prototype des réorientations révolutionnaires dans la vie scientifique » (Kuhn, 2008, 147).

**125** Le physicien et philosophe des sciences Bernard d'Espagnat parle même de « révolution anti-copernicienne » (D'Espagnat, 1981, 25) pour le passage de la mécanique classique à la mécanique quantique et, comme la plupart des physiciens ou des historiens de la physique, oppose « physique quantique » à « physique classique » (D'Espagnat, 1985, 6).

à leur propos des « deux révolutions scientifiques du XX^e siècle[126] » – reprenant ainsi à leur compte l'historiographie classique de la physique – insistent sur leur dimension de continuité avec la science newtonienne. Leur argument principal, développé à plusieurs reprises, est que la relativité, comme la mécanique quantique, certes dans des domaines aux échelles très éloignées l'une de l'autre – le domaine des objets stellaires de grande vitesse pour la première, le domaine atomique pour la seconde – ont conservé une caractéristique essentielle de la science newtonienne : la réversibilité des transformations considérées[127]. Pour les auteurs de *La Nouvelle Alliance*, la rupture décisive dans l'histoire des sciences modernes est donc la prise en compte des processus irréversibles qui se déroulent loin de l'équilibre et peuvent engendrer des « structures dissipatives ». Les grands noms de cette histoire de la physique ne sont alors plus Albert Einstein, Niels Bohr, Erwin Schrödinger ou Werner Heisenberg – le premier étant associé à la relativité, les trois suivants à la mécanique quantique – mais Joseph Fourier, Ludwig Boltzmann, Théophile de Donder, Lars Onsager et Ilya Prigogine lui-même. Les auteurs parlent d'ailleurs aussi, à propos de cette « métamorphose de la science », de « révolution scientifique » et précisent qu'il leur « est donné d'en vivre des épisodes décisifs[128] ». Ils n'hésitent pas à comparer leur situation à celle de Newton : « Nous sommes à nouveau à l'aube du savoir moderne, à cette époque où Newton guettait dans la fournaise le devenir de la matière et analysait la vie sociale des corps chimiques[129] ». À ceci près, ajoutent-ils, qu'ils disposent, eux, des outils scientifiques pour réussir là où Newton a échoué : « La première synthèse, la synthèse newtonienne, ne pouvait être complète : la force d'attraction universelle dont la dynamique décrit l'action est incapable de rendre compte du comportement complexe et irréversible de la matière[130] ». Le lecteur est alors incité à conclure que Prigogine et Stengers sont en train de réaliser une seconde synthèse qui, elle, pourra enfin être complète. Ainsi, la grande fresque d'histoire des sciences développée par *La Nouvelle Alliance* est construite pour déboucher sur un affrontement final entre la dynamique newtonienne et la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre ou, autrement dit, pour faire d'Ilya Prigogine le premier scientifique réellement capable de dépasser la vision du monde inhérente à la science newtonienne et de construire une synthèse de l'ensemble des sciences de la nature. Pour arriver à un tel résultat, certains choix historiographiques contestables sont opérés par les auteurs, notamment celui qui consiste à présenter les sciences modernes, depuis la

**126** Prigogine, Stengers, 1979, 220.

**127** L'article de 1977 est beaucoup plus nuancé sur ce point, en ce qui concerne la mécanique quantique. Il avance en effet que la nécessité de la prise en compte de l'irréversibilité par la dynamique a une double origine : la mécanique quantique et les structures dissipatives (Prigogine, Stengers, 1977, 620).

**128** Prigogine, Stengers, 1979, 13.

**129** *Ibid.*, 195.

**130** *Ibid.*

fin du XVII^e siècle, comme un ensemble cohérent, voire monolithique, où quasiment toutes les disciplines scientifiques prennent – ou sont contraintes de prendre – comme modèle la mécanique newtonienne et en épousent les principes. Les sciences de la nature semblent alors se réduire aux sciences physiques et ces dernières à la mécanique et à la thermodynamique. Dans cette construction téléologique du récit, même la thermodynamique des systèmes à l'équilibre et même la biologie moléculaire la plus contemporaine, notamment à travers la figure de Jacques Monod, sont présentées comme parfaitement compatibles avec les présupposés philosophiques de la dynamique newtonienne. En ce sens, *La Nouvelle Alliance* est bel et bien une réponse à Monod : là où, selon nos auteurs, celui-ci s'est déclaré vaincu, et contraint de distinguer le hasard de l'apparition de la vie et la nécessité des lois de la physique, Prigogine et Stengers affirment pouvoir réaliser, grâce à la thermodynamique loin de l'équilibre, la synthèse entre le hasard et la nécessité.

Toutefois, dans l'ouvrage, les auteurs vont encore beaucoup plus loin en ce qui concerne la puissance interprétative qu'ils attribuent à cette thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre (ou thermodynamique non linéaire), c'est-à-dire à la thermodynamique développée notamment par Prigogine et ses collaborateurs. Ils proposent ainsi, à plusieurs reprises, de modéliser ou d'interpréter des comportements humains sociaux à l'aide des découvertes récentes de cette nouvelle thermodynamique. Par exemple, ils suggèrent d'utiliser, à propos de certains comportements sociaux, la notion thermodynamique de « seuil de nucléation », qui représente l'amplitude minimale que doit avoir une fluctuation microscopique pour être capable de déstabiliser entièrement un système macroscopique. Ils affirment en effet « espérer que le concept de nucléation peut avoir un sens dans l'étude des phénomènes sociaux ». Tout en prenant la précaution de préciser qu'ils s'expriment là « sur un mode qui se voudrait suggestif et non démonstratif », ils prétendent ainsi que les descriptions thermodynamiques, par analogie, pourraient permettre d'expliquer la « puissance innovatrice de groupes minoritaires caractérisés par une situation marginale par rapport aux circuits dominants », ou encore pourquoi « la rapidité de la circulation des informations… [contribue] à maintenir tout événement dans l'insignifiance[131] ». Ils parlent aussi, dans ce même contexte, des « interactions non linéaires locales entre individus[132] ». Or, autant ils définissent la notion de linéarité (et donc de non-linéarité) de façon très rigoureuse lorsqu'il s'agit de thermodynamique, autant l'emploi de cette notion peut sembler beaucoup plus hasardeux lorsqu'il s'agit d'interactions entre êtres humains. Plus loin, ils invoquent les équations cinétiques des réactions chimiques comme « interprétation quantitative de l'idée darwinienne

**131** Prigogine, Stengers, 1979, 179.
**132** *Ibid.*, 179.

de "survivance du plus apte"[133] ». Après être passés allègrement, à l'aide de la thermodynamique non linéaire, de la chimie à l'écologie, ils vont jusqu'à suggérer que ce formalisme peut tout aussi bien être appliqué à la compétition entre innovations technologiques dans les sociétés humaines[134]. Les auteurs évoquent ensuite les travaux de certains de leurs collègues, autour de Peter Allen[135], concernant des modèles de type thermodynamique pour décrire l'urbanisation régionale sur la base du comportement économique des acteurs sociaux[136]. Ils résument ainsi les résultats de ces travaux : « Ce scénario fait de la localisation des centres urbains le produit d'un jeu de "lois", ici purement économiques, et du "hasard" de l'implantation de tel type d'entreprise à tel endroit à tel moment[137]. » Ils écrivent encore que, grâce à la thermodynamique des processus irréversibles, « d'autres situations typiques de l'évolution biologique peuvent être explorées grâce à des modèles d'une grande simplicité[138] ». On peut alors se demander si les auteurs ne sont pas en train de reproduire, avec la thermodynamique non linéaire, le type de réduction de la complexité, de simplification des situations réelles, qui constituait l'une de leurs principales critiques récurrentes à propos de la science newtonienne. Cela a-t-il vraiment du sens de distinguer, comme le font les auteurs, des interactions sociales linéaires et non linéaires[139] ? Cela ne revient-il pas à postuler la possibilité d'une description mathématique des relations humaines en société ? Alors que leur critique essentielle à l'égard de la science newtonienne était la conviction de celle-ci que la nature inerte pouvait se lire en langage mathématique, il semble que Prigogine et Stengers appliquent parfois le même type de réductionnisme mathématique au cas de la nature vivante. Certes, les auteurs s'efforcent de rassurer leur lecteur en précisant qu'« entre les mises en perspectives qu'[ils viennent] de tenter et une théorie générale de la société, la distance est grande[140] ». Il n'en reste pas moins qu'ils prêtent à la thermodynamique

**133** *Ibid.*, 183-184.

**134** *Ibid.*, 184.

**135** Peter Allen a été chercheur à l'Université libre de Bruxelles, dans le laboratoire d'Ilya Prigogine, de 1972 à 1987, puis à l'université de Cranfield (Grande-Bretagne) où il est encore professeur émérite. À propos de ses travaux de l'époque, dans un entretien de 2015, Isabelle Stengers explique, de façon rétrospective : « C'est vrai qu'un des trucs qui a dû être négocié ici, c'était le statut des modèles sociaux, parce qu'il y a eu un moment où des gens s'y sont mis, et puis il y a eu rupture [...] les modélisateurs sociaux ont disparu [...] celui qui m'a vraiment inquiété, c'était un modèle de seuil de tolérance, qui fait que des quartiers se différencient en blancs et en noirs, ou en riches et en pauvres, à partir d'une situation plus ou moins homogène. Alors ça, c'était de la dynamite ! Et ça évacuait tout ce qui amplifie et stabilise la chose, à savoir le coût du terrain, toutes les dimensions socio-économiques, qui font qu'ils ne sont pas simplement un peu plus ou un peu moins... mais que d'autres choses sont en jeu. C'est sur ça que s'est faite la rupture, parce que là on peut vraiment parler de naturalisation dangereuse, où on viendrait dire : "on n'y peut rien, les humains sont comme ça, vous voyez, une petite différence suffit, et crack, les ghettos se forment" » (Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015).

**136** Allen, Sanglier, 1978.

**137** Prigogine, Stengers, 1979, 185.

**138** Ibid., 186.

**139** Ibid., 189.

**140** Prigogine, Stengers, 1979, 189.

des processus irréversibles loin de l'équilibre une puissance de généralisation interprétative, qui irait potentiellement de l'objet inerte à la pensée humaine, notamment lorsqu'ils écrivent que cette nouvelle théorie physique « mène à distinguer entre les états du système où toute initiative individuelle est vouée à l'insignifiance, et les zones de bifurcation où un individu, une idée ou un comportement nouveau peuvent bouleverser l'état moyen[141] ». Il semble important de rappeler ici que les « individus » considérés par la thermodynamique des processus irréversibles sont des molécules (ou autres particules), mais en aucun cas, comme le suggèrent pourtant ici Prigogine et Stengers, des êtres humains et encore moins des « idées ». S'il est indéniable que les développements de la thermodynamique ont permis de mieux comprendre certains phénomènes naturels, certains comportements de la matière vivante qui échappaient complètement à la science newtonienne, il est peut-être exagéré de conférer à ces développements la possibilité d'interpréter jusqu'aux comportements sociaux, voire psychologiques, des humains.

Ainsi, *La Nouvelle Alliance* peut être lue, par certains de ses aspects, comme un récit apologétique, comme l'annonce que, là où la science newtonienne avait échoué à proposer une description complète du monde, la thermodynamique des processus irréversibles loin de l'équilibre serait en mesure de réussir une telle synthèse. Cette thermodynamique serait donc en quelque sorte capable de réaliser l'alliance entre les sciences de la nature et les sciences humaines et sociales, mais une alliance singulièrement asymétrique, car caractérisée par la dimension interprétative hégémonique de cette « nouvelle science[142] ». Interrogée à propos de cette interprétation de l'ouvrage, Isabelle Stengers reconnaît en effet « la possibilité que cela soit entendu comme la nouvelle "bonne nouvelle" apportée par la physique ». Elle ajoute :

> L'une de mes grandes déconvenues, et que j'ai apprise, c'est que, pour beaucoup, *La Nouvelle Alliance* était la "bonne nouvelle" pour tout le monde, pour les historiens, pour les sociologues, pour tous ceux qui allaient pouvoir prendre l'événement au sérieux grâce à la physique, qui les y autorisait[143]…

Elle reconnaît même que Prigogine se situait personnellement dans cette perspective :

> Disons que le fantasme de Prigogine, c'était effectivement : c'est la physique qui permet l'alliance entre les savoirs du monde, dans leur diversité, et les lois de la nature. Donc, oui, cela donne à la physique le rôle de Dieu, qui jure qu'il ne noiera plus le monde.

**141** *Ibid.*, 190.

**142** *Ibid.*, 1979, 285.

**143** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015. Dans son texte de 2006, pourtant élogieux, Bernadette Bensaude-Vincent utilise également l'expression « bonne nouvelle », lorsqu'elle écrit que *La Nouvelle Alliance* s'efforce de « proclamer la bonne nouvelle sur tous les tons » (Bensaude-Vincent, 2006).

Stengers ajoute, plus loin :

> Dans sa jeunesse, il avait lu beaucoup Bergson, mais il estimait que Bergson pouvait écrire tout cela parce qu'il ne connaissait pas encore la physique de l'époque de Prigogine, lui ! Il ne pouvait pas s'empêcher de penser qu'il avait résolu le problème philosophique de Bergson [...] C'était évidemment comme ça que Prigogine lisait Bergson, et les autres... Il les lisait en disant : "Ah oui, comme ils ont raison ! Maintenant je peux le dire !" C'est ça le montage de *La Nouvelle Alliance*, entre quelqu'un qui croit ça et quelqu'un qui n'y croit pas[144].

Ainsi, Stengers laisse entendre que, plus modestement peut-être que le titre de l'ouvrage ne le laissait supposer, cette « nouvelle alliance » était, au moins en partie, une alliance contingente, en actes, entre un physicien et une philosophe. Cette alliance n'a d'ailleurs peut-être été possible que parce qu'Ilya Prigogine et Isabelle Stengers partageaient une double culture physico-chimique et philosophique et donc que chacun comprenait le langage de l'autre. Stengers insiste d'ailleurs sur le caractère singulier de cette alliance, ou de ce dialogue, lorsqu'elle affirme que les sciences

> ont des outils et des contraintes qui divergent de ceux de la philosophie. C'est un autre régime de pensée. Donc les rencontres entre les deux ont quelque-chose de contingent. [...] C'est une des raisons pour lesquelles le titre *La Nouvelle Alliance* ne m'emballait pas[145].

Finalement, Prigogine et Stengers, avec *La Nouvelle Alliance*, ont contribué à mettre en évidence certaines apories de la science moderne et notamment sa prétention à décrire l'ensemble du monde à l'aide d'un unique langage physico-mathématique, et son incapacité fondamentale à dialoguer avec les sciences humaines et sociales. Historiquement, cette science moderne a souvent rejeté comme non pertinents les phénomènes irréversibles ou 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 des processus irréversibles loin de l'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 de ces 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 « science métamorphosée » propose une vision du monde différente, mais aussi complémentaire, de celle qu'offre la science moderne, et que leur vocation n'est pas de s'affronter en vue d'une impossible hégémonie.

**144** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015. Signalons tout de même que, si Stengers ne croit plus, aujourd'hui, à cette vision de la physique développée par Prigogine, rien ne permet de dire, à la lecture de *La Nouvelle Alliance*, ce qu'il en était à l'époque de sa publication.

**145** Isabelle Stengers, entretien avec Emanuel Bertrand, Bruxelles, 7 juillet 2015.

La pluralité des visions scientifiques du monde, souvent défendue avec acharnement, et de façon convaincante, dans *La Nouvelle Alliance*, doit-elle 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 ?

## Bibliographie

**Allen**, P., **Sanglier**, M., 1978, « Dynamic Models of Urban Growth », *Journal for Social and Biological Structures*, 1, p. 265-280.

**Aubin**, D., 1998, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos: Around the Institut des Hautes Études Scientifiques, France 1958-1980*, PhD thesis (Princeton University) (en ligne : https://webusers.imj-prg.fr/~david.aubin/publis.html, consulté le 28 avril 2016).

**Bachelard**, G., 1938, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.

**Balescu**, R., 2006, *Ilya Prigogine, sa vie, son œuvre*, Bruxelles, Académie royale de Belgique.

**Bensaude-Vincent**, B., 2006, « Le grand livre du siècle, *La Nouvelle Alliance*, I. Prigogine, I. Stengers », *La Recherche*, 400, p. 88.

**Bergson**, H., 1906, *L'évolution créatrice*, dans *Œuvres* (Édition du centenaire, Paris, PUF, 1970).

**Bergson**, H., 1934, *La pensée et le mouvant. Essais et conférences*, dans *Œuvres* (Édition du centenaire, Paris, PUF, 1970).

**Carnot**, S., 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris, Bachelier.

**Carnot**, S., 1990, *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, Sceaux, Éditions Jacques Gabay.

**Clausius**, R., 1865, « Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie », *Annalen der Physik und Chemie*, 125, p. 353-400.

**Clausius**, R., 1867, *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie*, Braunschweig, Vieweg.

**Clausius**, R. 1868, *Théorie mécanique de la chaleur*, Paris, Lacroix.

**Clausius**, R., 1991, *Théorie mécanique de la chaleur*, Sceaux, Éditions Jacques Gabay.

**Deleuze**, G., 1968, *Différence et répétition*, Paris, PUF.

**Elkana**, Y., 1974, *The Discovery of the Conservation of Energy*, Londres, Hutchinson.

**D'Espagnat**, B., 1981, *À la recherche du réel. Le regard d'un physicien*, Paris, Gauthier-Villars (1re éd. : 1979).

**D'Espagnat**, B., 1985, *Une incertaine réalité. Le monde quantique, la connaissance et la durée*, Paris, Gauthier-Villars.

**Jacob**, F., 1970, *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*, Paris, Gallimard.

**Kuhn**, T. S., 1977, « Energy Conservation as an Exemple of Simultaneous Discovery », dans *The Essential Tension*, Chicago, University of Chicago Press.

**Kuhn**, T. S., 2008, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion (1e éd. en anglais : 1962).

**Lefever**, R., 2013, « Notice biographique d'Ilya Prigogine », *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique*, 10, p. 1-17 (en ligne : http://www.academieroyale.be/academie/documents/131030_Notice_Prigogine18523.pdf, consulté le 28 avril 2016).

**Leibniz**, G. W., 1714, *La monadologie*, édition de Boutroux, É., Paris, Delagrave (1978) (en ligne : classiques.uqac.ca/classiques/Leibniz/La_Monadologie/La_Monadologie.html, consulté le 28 avril 2016).

**Lucrèce**, 1972, *De la nature*, traduction d'Ernout, A., Paris, Les Belles Lettres.

**Lwoff**, A., 1969, *L'ordre biologique*, Paris, Robert Laffont.

**Merleau-Ponty**, M., 1968, *Résumés de cours. Collège de France. 1952-1960*, Paris, Gallimard.

**Monod**, J., 1970, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil.

**Pacault**, A., **Vidal**, C., 1975, *À chacun son temps*, Paris, Flammarion.

**Prigogine**, I., 1947, *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles*, Paris/Liège, Dunod/Desoer.

**Prigogine**, I., **Stengers**, I., 1977a, « La Nouvelle Alliance. Première partie – De la dynamique à

la thermodynamique : la progressive ouverture de la physique au monde des processus naturels », *Scientia (International Review of Scientific Synthesis)*, 112, p. 287-304.

**Prigogine**, I., **Stengers**, I., 1977b, « La Nouvelle Alliance. Deuxième partie – L'élargissement de la dynamique : vers une science humaine de la nature », *Scientia (International Review of Scientific Synthesis)*, 112, p. 617-630.

**Prigogine**, I., **Stengers**, I., 1979, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*, Paris, Gallimard.

**Prigogine**, I., **Stengers**, I., 1984, *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*, New York, Bantam books.

**Serres**, M., 1977, *La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*, Paris, Minuit.

**Stengers**, I., 1996, *Cosmopolitiques. Tome 3. Thermodynamique : la réalité physique en crise*, Paris/Le Plessis-Robinson, La Découverte/Les Empêcheurs de penser en rond.

**Stengers**, I., 1997, *Cosmopolitiques. Tome 5. Au nom de la flèche du temps : le défi de Prigogine*, Paris/Le Plessis-Robinson, La Découverte/Les Empêcheurs de penser en rond.

**Stengers**, I., 2002, *Penser avec Whitehead. Une libre et sauvage création de concepts*, Paris, Seuil.

**Snow**, C. P., 1963, *The Two Cultures and a Second Look*, New York, New American Library.

**Whitehead**, A. N., 1967 [1925], *Science and the Modern World*, New York, The Free Press, Mac Millan.

**Whitehead**, A. N., 1969 [1929], *Process and Reality. An Essay in Cosmology*, New York, The Free Press, Mac Millan.