

La fin des certitudes

Ilya Prigogine

Je m'étais intéressé autrefois aux travaux de Prigogine car je voyais dans ses études sur la thermodynamique des processus irréversibles près de l'équilibre des possibilités d'application aux régimes quasi stationnaires d'écoulements atmosphériques, en particulier par l'emploi de la condition de minimum de dissipation, notion déjà utilisée par Wehrle.

L'ambition de l'auteur de *La fin des certitudes*, ouvrage qui ne comporte pourtant que 234 pages au format de poche, n'est pas mince puisque Prigogine écrit dans son introduction : « Si j'ai pu transmettre au lecteur ma conviction que nous assistons à un changement radical de la direction suivie par la physique depuis Newton, ce livre aura atteint son but. » L'objectif de ce livre va donc bien au-delà de mes préoccupations de l'époque. En particulier, les digressions constantes relatives aux sciences de la vie et à la philosophie – car Prigogine considère que la physique est constituée par un large dialogue avec la nature – me laissent bien incapable de présenter une analyse de ce livre. Je me limiterai à en dégager quelques idées.

Il s'agit d'abord d'un constat : celui du divorce de la science actuelle avec ce que nous connaissons de la nature. Fondée d'abord sur les principes newtoniens, la science actuelle est celle de l'être et non celle du devenir. Son déterminisme total ne lui permet pas d'intégrer les mutations dues au hasard. Les états qu'elle décrit sont inexorablement figés par les conditions initiales. Le passé y est décrit de la même façon que le futur car le temps, comme l'espace, y est isotrope.

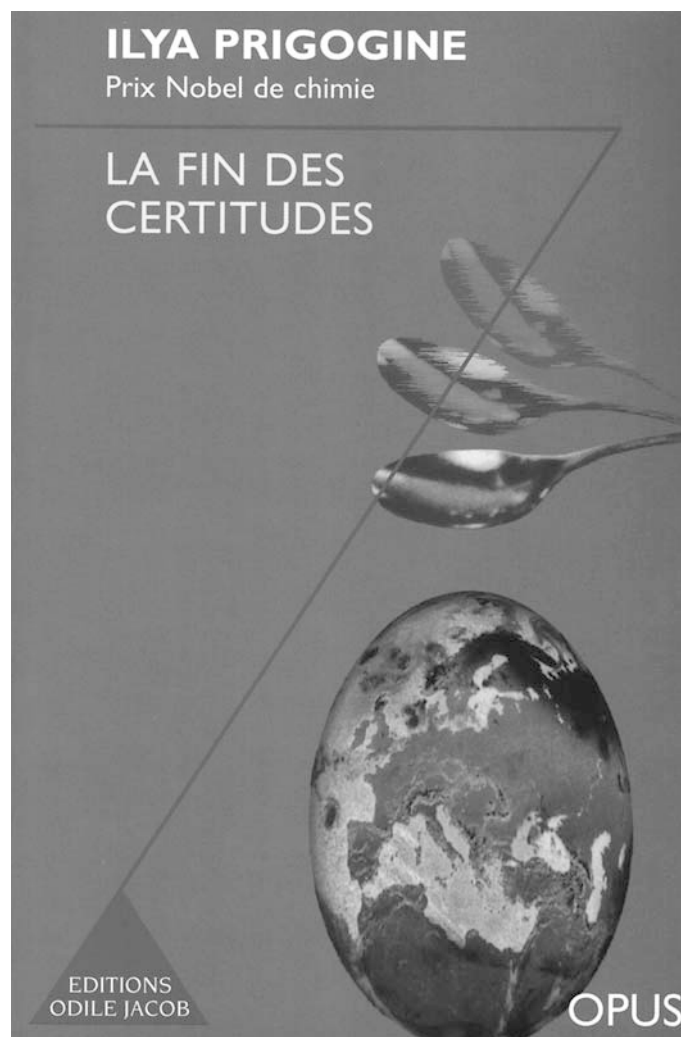
Un peu plus réaliste, la thermodynamique, née par pragmatisme au XIX^e siècle, a osé introduire le hasard et abandonner le réductionnisme pour des descriptions des systèmes plus macroscopiques. Mais, il s'agit encore d'équilibres thermodynamiques que l'on peut contrôler par leurs conditions aux limites lorsque l'on change celles-ci très progressivement. Le caractère réversible de l'évolution et les conditions aux limites sont entièrement solidaires. Dans ce cadre, l'irréversibilité est définie négativement.

La nouvelle orientation proposée par Ilya Prigogine a été rendue possible principalement par les résultats de la thermodynamique des processus irréversibles et par les progrès de la dynamique des systèmes chaotiques. Les premiers ont montré clairement

que l'irréversibilité et la dissipation associée n'avaient pas seulement le caractère négatif qu'on leur accorde souvent mais, qu'au contraire, elles contribuaient à la création de structures macroscopiques nouvelles. Les seconds ont conduit à l'adoption d'une description probabiliste des systèmes. Le thème central consiste à chercher des solutions dynamiques brisant la symétrie temporelle passé-futur en donnant à l'irréversibilité un caractère objectif. Ce point de vue est en général contesté.

Classiquement, la dynamique des systèmes se traite dans l'espace multidimensionnel des phases. Habituellement, on considère un état initial représenté par un point dans cet espace, point qui, avec le temps, décrit une trajectoire. En mécanique

statistique, on ne s'intéresse pas à une situation particulière, mais à l'ensemble de toutes celles qui sont possibles, avec leur probabilité ; on définit ainsi une densité de probabilité dont il faut évaluer l'évolution avec le temps. La représentation ponctuelle et la représentation ensembliste peuvent se révéler équivalentes : il suffit de prendre pour densité de probabilité au temps initial une fonction (il serait préférable d'employer le terme de distribution) de Dirac valorisant seulement le point initial, mais cela pose les problèmes mathématiques du passage du continu au discret. En outre, la trajectoire n'a pas toujours de sens. Dans un système instable présentant une dépendance sensible des conditions initiales, deux positions initiales infiniment voisines engendreront des trajectoires divergentes, la rapidité de cette divergence étant caractérisée par des coefficients dits de Lyapounov.



C'est pour ces raisons que Prigogine abandonne la trajectoire pour la représentation probabiliste.

Pour nous faire comprendre l'intérêt de son choix, il nous propose l'étude d'un système évolutif, simple, déterministe, instable, irréversible, unidimensionnel, montrant d'ailleurs ainsi que l'instabilité et l'irréversibilité ne naissent pas obligatoirement de la complexité du système. Il s'agit de la position d'un point sur une boucle. La position de ce point est représentée par son abscisse curviligne (modulo la longueur de la boucle) à partir d'un point origine. Ce point évolue par bonds successifs en doublant chaque fois son abscisse (transformation de Bernouilli). L'étude ponctuelle révèle des trajectoires erratiques sans intérêt, tandis que la représentation probabiliste met en évidence une évolution très précise, la tendance à l'uniformité de la densité, avec une rapidité pilotée par le coefficient de Lyapounov qui est unique dans ce cas unidimensionnel.

Voilà les idées, sinon les plus essentielles, du moins les plus faciles à commenter que j'ai pu tirer de la lecture de cet ouvrage. J'ajouterai cependant le rôle important des fractals dans le nouvel arsenal mathématique nécessaire à une formulation statistique des lois de la nature et une étude sur la liaison entre non-intégrabilité au sens de Poincaré et instabilité, mais ces points importants m'ont paru trop ardu pour les commenter en quelques lignes. Enfin, je citerai une des conclusions de l'auteur : « *Le hasard pur est tout autant une négation de la réalité et de notre exigence de comprendre le monde que le déterminisme. Ce que nous avons cherché à construire est une voie étroite entre ces deux conceptions...* »

Bien que cette unification de la dynamique et de la thermodynamique soit une belle construction intellectuelle, il ne me semble pas qu'au plan de la résolution de problèmes concrets, elle puisse nous apporter beaucoup. En outre, au plan conceptuel, elle soulève certaines réserves de la communauté scientifique : on peut lire par exemple sous la plume de D. Ruelle dans *Hasard et Chaos* : « *La réversibilité des lois fondamentales de la physique paraît être le point de départ solide... Il y a quelques opinions différentes, notamment celles d'Ilya Prigogine, mais le désaccord est basé sur des idées philosophiques*

plutôt que sur des faits physiques concrets. » Cette mode de la dérive philosophique des physiciens vient de susciter la publication d'un ouvrage de D. Terré paru aux PUF sous le titre *Les dérives de l'argumentation scientifique*. Je citerai quelques lignes de l'analyse de cet ouvrage par *La Recherche* de novembre 1999 : « *Sur le cas Prigogine, par exemple, l'auteur montre très bien comment, tentant de produire la philosophie de ses découvertes, il ne parvient qu'à dévider avec prolixité le fil d'une pensée qui s'appuie sur ses seules découvertes et qui ne tient pas compte du savoir accumulé sur les mêmes thèmes.* »

En revanche, la pensée de Prigogine nous apporte par ailleurs beaucoup de concret, par exemple sa réhabilitation de l'irréversibilité et de la dissipation qui lui est liée. Et cela intéresse au premier chef la météorologie. Comme à beaucoup d'autres, on m'a appris que l'atmosphère est une machine thermique. C'est faux ! L'atmosphère ne travaille pas, ou si peu, et d'ailleurs essentiellement pour causer des dégâts. Elle ne fait que dissiper, mais souvent intelligemment en créant des structures et non une désolante uniformité. Les travaux de Prigogine de ces dernières décennies, bien qu'ils aient souvent été écrits avec le langage du chimiste, s'appliquent parfaitement à l'atmosphère qui se réorganise continuellement par la dissipation. Mais les institutions météorologiques n'ont pas su créer une structure de dimension critique suffisante pour adhérer à cette recherche.

En ce qui concerne la réfutation des trajectoires, et par conséquent celle du réductionnisme, la profession aurait été facilement acquise à cette idée. Les prévisionnistes, constamment confrontés avec les instabilités de l'atmosphère, avaient compris qu'ils n'obtiendraient des résultats qu'en étudiant des configurations d'ensemble, perturbations, fronts, tourbillons... quitte à perdre une certaine finesse d'information et même de certitude sur l'évolution. L'échec de Richardson avait été compris et l'on savait qu'il n'était pas dû seulement à la faiblesse de ses moyens de calcul. La météorologie dynamique avait élaboré des concepts plus globaux que la particule, pour comprendre les évolutions atmosphériques. C'est dans cet esprit que la prévision numérique fut abordée. La puissance des ordinateurs

augmentant démesurément, certains, sans doute plus numériciens que météorologues, ont malheureusement – du moins j'en ai la conviction – cru voir dans ces machines l'incarnation du démon de Laplace. Pourquoi se seraient-ils attardés aux concepts de la météorologie dynamique qui ne représentaient pour eux que des approximations ? Les équations de base pouvaient être traitées directement. C'était seulement un problème d'analyse numérique et de puissance de calcul, qui pouvait être accrue. À l'époque des trente glorieuses, quand la formule « *toujours plus* » était de mise, la tentation du démon n'a pu être exorcisée et a atteint son objectif. On est donc revenu, par le traitement numérique, à la conception réductionniste de la particule utilisée par Richardson, et cela même pour la modélisation climatique, ce que je n'arrive pas à comprendre.

Contrairement à l'idée controversée d'une irréversibilité fondamentale des lois physiques, celle de l'abandon du réductionnisme et des certitudes pour les résultats me semble assez bien partagée. Il apparaît que la prise en compte de la complexité est essentielle, non seulement d'ailleurs pour les sciences de la nature, mais aussi pour celles de la société.

Je citerai pour terminer un géophysicien, par ailleurs ancien ministre de la Recherche : « *Les trente dernières années ont changé la logique même du raisonnement scientifique, que l'on pensait pourtant solidement établie depuis Galilée et Newton [...]. Le réductionnisme atteint ses limites [...]. Le point de vue historique s'impose en sciences de la matière, de la vie, comme de la société.* »

Guy Dady

La fin des certitudes.

Par Ilya Prigogine.

Éditions Odile Jacob, collection « Opus », Paris, 1998, 234 p.